



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA
DE LA EMBOTELLADORA *AQUA CLARA* DEL CANTÓN
PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: IVONNE FERNANDA CRUZ CALERO

TUTORA: ING. MÓNICA ANDRADE

RIOBAMBA – ECUADOR

2017

©2017, Ivonne Fernanda Cruz Calero

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo técnico: **OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA AQUA CLARA DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**, de responsabilidad de la Señorita Ivonne Fernanda Cruz Calero, ha sido prolijamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Mónica Andrade

**DIRECTOR DE TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Danielita Borja

**COLABORADOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

Dr. Gerardo León

**DELEGADO DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, IVONNE FERNANDA CRUZ CALERO soy responsable de los procedimientos, ideas y resultados obtenidos en esta investigación del Trabajo de Titulación y el esfuerzo realizado es por la formación intelectual recibido en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ivonne Fernanda Cruz Calero

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a mis padres, Fredy Cruz y Mercedes Calero quienes con su trabajo y esfuerzo me han forjado como la persona que soy; con reglas y libertades me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mi hermana Viviana, por ser mi estrella la cual debo seguir como ejemplo de vida y a mi sobrino Gael, que con su inocencia ha hecho mis días más felices.

A mi prima Adriana, quien ha estado conmigo en cada caída y triunfo de mi vida, este trabajo es para demostrarte que los sueños si se hacen posibles.

Y de manera especial a mi enamorado Edison, quien con su apoyo y cariño me ha acompañado por todo este camino de mi formación como profesional.

Ivonne

AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a Dios por regalarme el don de la vida y por colocarme en el momento exacto para actuar de la mejor manera.

A mis padres, a mi hermana y a toda mi familia quienes con sus palabras de aliento me motivaron a seguir adelante, muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los cuales se incluye éste.

A la Escuela de Ingeniería Química, a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial mi reconocimiento a la Ing. Mónica Andrade e Ing. Danielita Borja por haberme brindado su colaboración en cuanto a conocimiento y criterio profesional, para el desarrollo de mi proyecto.

A la Empresa “Aqua Clara” por la apertura y apoyo incondicional durante el desarrollo del estudio, a la Ing. Dina Recalde por facilitarme la información necesaria para el avance de mi proyecto de titulación.

Ivonne

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XIII
SUMMARY	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.3. LÍNEA BASE DEL PROYECTO	3
1.3.1. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS.	3
1.3.2. METODOLOGÍA	4
1.3.2.1. Toma de Muestras	5
1.3.2.2. Manipulación de Muestras	5
1.3.3. MÉTODOS	5
1.3.4. TÉCNICAS	6
1.3.5. ANÁLISIS	6
1.3.5.1. Parámetros fuera de norma.....	8
1.3.6. TRATAMIENTOS PARA LA OPTIMIZACIÓN.	9
1.3.6.1. Metodología del Tratamiento.....	9
1.4. BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	11
1.4.1. DIRECTOS.	11
1.4.2. INDIRECTOS.	11

CAPITULO II

2.1. OBJETIVO GENERAL	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12

CAPÍTULO III

3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	13
3.1.1. Área de Estudio	14
3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	14
3.2.1. AGUA PURIFICADA ENVASADA	15
3.2.2. ESTÁNDAR DEL PROCESO DE PURIFICACIÓN	15
3.2.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS.....	16
3.2.4. CÁLCULOS PARA EL PROCESO DE PURIFICACIÓN DE AGUA	18

3.2.4.1. Dureza	18
3.2.4.1.1. Determinación de la Dureza	18
3.2.4.1.2. Cantidad de Calcio	20
3.2.4.1.3. Cantidad de Magnesio	21
3.2.4.1.4. Área de la Caja Petri.....	22
3.2.4.1.5. Cantidad de Coliformes Totales	23
3.2.4.2. Resina de Intercambio Iónico.....	23
3.2.4.2.1. Capacidad de intercambio de la resina	25
3.2.4.3. Filtración Lenta	25
3.2.4.3.1. Número de filtros.....	25
3.2.4.3.2. Área superficial	26
3.2.4.3.3. Coeficiente del mínimo costo	26
3.2.4.3.4. Longitud de unidad	27
3.2.4.3.5. Ancho de la unidad	27
3.2.4.3.6. Altura del filtro.....	28
3.2.4.4. Sistema de drenaje.....	28
3.2.4.4.1. Área de cada orificio	29
3.2.4.4.4. Tubería de entrada al filtro	30
3.2.4.5. Sistema de Lavado del Filtro.....	31
3.2.4.5.1. Velocidad óptima de lavado	31
3.2.4.5.2. Cantidad de agua para lavado	32
3.2.4.6. Desinfección.....	33
3.2.4.6.1. Peso necesario de cloro a dosificar.....	33
3.2.4.6.2. Volumen del hipoclorador	33
3.2.4.6.3. Volumen del tanque de mezcla de cloro	34
3.2.4.6.4. Altura del tanque de mezcla de cloro	34
3.2.4.7. Rendimiento de las pruebas de tratabilidad.....	35
3.2.4.8. Cálculos de la dosificación de químicos	36
3.2.4.8.1. Cantidad de resina catiónica necesarios para el filtro lento.....	36
3.2.4.8.3. Kilogramos de NaCl 10% necesarios para la activación de la resina.....	37
3.2.5. RESULTADOS	37
3.2.5.1. Resultados del Dimensionamiento	37
3.2.5.1.1. Resultados de la Dureza y Coliformes Totales	37
Cantidad de Coliformes Totales antes del tratamiento.....	38
3.2.5.1.2. Resultados de la Resina de Intercambio Iónico.....	38
3.2.5.2. Resultados para el Diseño del Filtro	38

3.2.5.3. Resultados para el Diseño del Sistema de Drenaje	39
3.2.5.4. Resultados para el Sistema de Lavado del Filtro	39
3.2.5.5. Resultados para la Desinfección	39
3.2.5.6. Resultados para Dosificación de Químicos.....	39
3.2.5.7. Resultados de la Caracterización Final	40
3.2.5.7.1. Resultados después del tratamiento con resina catiónica	40
3.2.5.8. Resultados de la remoción de los parámetros fuera del límite permisible	41
3.2.5.8.1. Características Físicas	41
3.2.5.8.2. Características Químicas	42
3.2.5.8.3. Características Microbiológicas.....	43
3.2.5.9. Análisis de los resultados de las pruebas de tratabilidad.....	44
3.3.2. LÍNEA DE PROCESO DE PURIFICACIÓN DE AGUA.....	47
<input type="checkbox"/> Captación de agua	47
<input type="checkbox"/> Filtro de Sedimentos.....	47
<input type="checkbox"/> Almacenamiento.....	47
<input type="checkbox"/> Equipo Hidroneumático	47
<input type="checkbox"/> Filtro de carbón activado.....	47
<input type="checkbox"/> Sistema de Ozonización	48
<input type="checkbox"/> Esterilizador de Luz Ultravioleta	48
<input type="checkbox"/> Envasado	48
3.3.3. PREPARACIÓN DE ENVASES	48
<input type="checkbox"/> Limpieza interior y exterior de envases	48
<input type="checkbox"/> Etiquetado de Envases.....	49
3.4. REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA, EQUIPOS Y MAQUINARIA.	49
3.5. ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO	51
3.5.1. COSTO DE LA OPTIMIZACIÓN	51
3.5.2. COSTO DEL REDISEÑO DE LA PLANTA.....	51
3.6. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO	52
 CONCLUSIONES.....	 54
RECOMENDACIONES.....	55
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Métodos físicos para caracterizar el agua envasada.....	3
Tabla 2-1. Métodos químicos para caracterizar el agua envasada	3
Tabla 3-1. Métodos organolépticos para caracterizar el agua envasada	4
Tabla 4-1. Métodos microbiológicos para caracterizar el agua envasada	4
Tabla 5-1. Requisitos Físicos, químicos y microbiológicos.....	4
Tabla 6-1. Análisis Fisicoquímicos del agua antes del tratamiento realizados en LABCESTTA	7
Tabla 7-1. Análisis Microbiológicos del agua antes del tratamiento realizados en LABCESTTA	7
Tabla 8-1. Análisis Fisicoquímicos del agua antes del tratamiento realizados en el Laboratorio de Calidad de Agua - ESPOCH	7
Tabla 9-1. Análisis Microbiológicos del agua antes del tratamiento realizados en el Laboratorio de Calidad de Agua - ESPOCH	8
Tabla 10-1. Parámetros fuera de norma.	8
Tabla 11-1. Tratamiento Físico-Químico.....	9
Tabla 12-1. Tratamiento Microbiológico	10
Tabla 1-3. Parámetros Organolépticos.....	16
Tabla 2-3. Parámetros Físicos	16
Tabla 3-3. Parámetros Químicos	17
Tabla 4-3. Parámetros Microbiológicos	17
Tabla 5-3. Índices de Dureza del Agua	18
Tabla 6-3. Determinación de la Dureza antes del	19
Tabla 7-3. Determinación de la Dureza después del	20
Tabla 8-3. Determinación de Calcio antes del	20
Tabla 9-3. Determinación de Calcio después del	21
Tabla 10-3. Determinación de Magnesio antes del	22
Tabla 11-3. Determinación de Magnesio después del.....	22
Tabla 12-3. Hoja Técnica de la Resina	24
Tabla 13-3. Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje	28
Tabla 14-3. Porcentaje de Remoción del proceso de intercambio iónico	35
Tabla 15-3. Porcentaje de Remoción del proceso de cloración.....	36
Tabla 16-3. Resultados Experimentales del Agua.....	37
Tabla 17-3. Resultados para la Resina	38

Tabla 18-3. Resultados para el Filtro	38
Tabla 19-3. Resultados para el Sistema de Drenaje	39
Tabla 20-3. Resultados para el Sistema de Lavado del Filtro	39
Tabla 21-3. Resultados para la Cloración	39
Tabla 22-3. Resultados para la dosificación de químicos	39
Tabla 23-3. Análisis Fisicoquímicos del agua después del tratamiento.....	40
Tabla 24-3. Análisis Microbiológicos del agua después del tratamiento.....	40
Tabla 25-3. Caracterización del color del agua inicial.....	41
Tabla 26-3. Caracterización de la Turbiedad del agua.....	41
Tabla 27-3. Caracterización del Cloro Libre Residual.....	42
Tabla 28-3. Caracterización de la Dureza del agua.....	43
Tabla 29-3. Caracterización de los Coliformes Totales del agua.....	43
Tabla 30-3. Caracterización de los Aerobios Mesófilos del agua.....	44
Tabla 31-3. Materiales, Equipos y Reactivos para la Caracterización Física del agua envasada	49
Tabla 32-3. Materiales, Equipos y Reactivos para la Caracterización Química del agua envasada.....	50
Tabla 33-3. Materiales, Equipos y Reactivos para la Caracterización Microbiológica del agua envasada.....	50
Tabla 34-3. Análisis de costo de la dosificación de cloro	51
Tabla 35-3. Análisis de costo de Equipos y herramientas.....	51
Tabla 36-3. Análisis de costo de dosificación de químicos	52
Tabla 37-3. Costo total del rediseño.....	52

INDICE DE MAPAS

Mapa 1-3. Ubicación Geográfica del cantón Pelileo.....	13
Mapa 2-3. Ubicación de la Embotelladora “Aqua Clara”	14

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-3. Captación de agua subterránea.....	15
Figura 2-3. Estándar del Proceso de Purificación del Agua.....	15
Figura 3-3. Resina Catiónica.....	23
Figura 3-3. Diagrama del proceso de producción de agua envasada “Aqua Clara”	46

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Disminución de color y % de remoción.....	421
Gráfico 2-3. Disminución de la turbiedad y % de remoción.....	432
Gráfico 3-3. Disminución de la cloro libre residual y % de remoción.....	442
Gráfico 4-3. Disminución de la dureza y % de remoción	463
Gráfico 5-3. Disminución de coliformes totales y % de remoción	464

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto fue la optimización del proceso de producción de agua de la Embotelladora “Aqua Clara” del Cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua con el fin de mejorar el proceso de purificación de agua cumpliendo con lo estipulado en la Norma Técnica Ecuatoriana 2200:08: Agua Purificada Envasada. Requisitos, haciéndola óptima para el consumo humano. Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica a una muestra de agua envasada, siguiendo los procedimientos contemplados en el Standard Methods y el Manual de Procesos HACH, utilizando técnicas gravimétricas, volumétricas e instrumentales. Los resultados obtenidos después de realizar la caracterización inicial demostraron que los siguientes parámetros estaban fuera del límite máximo permisible: color 11 UTC, turbiedad 5 NTU, cloro libre residual 0,06 mg/L, dureza 293,3 mg/L, coliformes totales 1287,9 UFC/100mL y aerobios mesófilos >100 UFC/mL., en base a estos datos se plantea un Sistema de Optimización mediante pruebas de tratabilidad obteniendo los siguientes resultados: color 0,1 UTC, turbiedad 1 NTU, cloro libre residual 0 mg/L, dureza 29,3 mg/L, coliformes totales <1 UFC/100mL y aerobios mesófilos <100 UFC/mL según establece la NTE 2200:08. Se concluye que el Sistema de Optimización será para mejorar la línea de producción de agua envasada de la Embotelladora “Aqua Clara” y se realiza únicamente en base al proceso de desinfección para asegurar la calidad del agua. Así mismo se proporciona una nueva alternativa de tratamiento quedando definido de la siguiente manera: filtros de sedimentos, filtros de resina catiónica, desinfección, filtros de carbón activado, ozonización, luz ultravioleta y envasado. Finalmente se recomienda a la Embotelladora “Aqua Clara” la puesta en marcha del sistema de tratamiento propuesto para garantizar la calidad del agua envasada y así proporcionar seguridad a los consumidores.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>
<MICROBIOLOGÍA> <SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN> <AGUA ENVASADA> <NTE 2200:08> <FILTROS DE RESINA CATIÓNICA> <DESINFECCIÓN>

ABSTRACT

The objective of the present project was the optimization of the water production process of the “Aqua Clara” bottler of Pelileo canton, Tungurahua province in order to improve the process the process of purification of water complying with stipulated in the Ecuadorian technical standard 2200:08. Purified water making it optimal for human consumption. The physical-chemical and microbiological catacterization was carried out to a sample of bottled water, following the procedures contemplated in the standard methods and the HACH process manual, using gravimetric, volumetric, and instrumental techniques. The results obtained after the initial characterization showed that the following parameters were outside the maximum permissible limit: color 11 UTC, turbidity 5 NTU, residual chlorine residual 0.06 mg/L, hardness 293.3 mg/L, total coliform 1287,9 CFU/100mL and aerobic mesophylls >100 CFU/mL. Based on these data, an Optimization System is proposed through treatability test, obtaining the following results: 0.1 UTC color, turbidity 1 NTU, residual free chlorine 0 mg/L, hardness 29.3 mg/L, total coliforms <1 CFU/100mL and aerobic mesophylls <100 CFU/mL as established by NTE 2200:08. It is concluded that the optimization system will improve the water production line in the “Aqua Clara” Bottling Plant and it is only carried out based on the disinfection process to assure the quality of the water. A new treatment alternative is provided as follows: sediment filters, cationic resin filters, disinfection, activated charcoal filters, ozonation, ultraviolet light and packaging. Finally, the “Aqua Clara” bottling plant is recommended to start the proposed treatment system to guarantee the quality of the bottled water and thus provide security to consumers.

Key words: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES> <MICROBIOLOGY> <OPTIMIZATION SYSTEM> <PACKED WATER> <NTE 2200:08> <CATIONICA RESIN FILTERS> <DISINFECTION>

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Las aguas superficiales son aquellas que provienen de vertientes o manantiales las mismas que contienen compuestos que son nocivos para el ser humano y por ende deben ser purificadas mediante una serie de procesos que deben llevarse a cabo con el fin de asegurar que el agua sea segura para consumirla.

Debido a que el agua proviene de vertientes representa un elevado grado de contaminación dado que en su trayecto hasta llegar a la embotelladora arrastra una serie de agentes externos como bacterias y microorganismos que se encuentran presentes en el agua, así como otros compuestos como metales, lodos, pesticidas u otros agentes que afectan la calidad de la misma ocasionando problemas sociales, económicos y sobre todo de salud, provocando en sus consumidores enfermedades endémicas como diarrea, cólera, parasitosis, fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería bacilar y amebiana, hepatitis, paludismo y conjuntivitis; siendo éstas las principales enfermedades producidas por el agua de mala calidad.

Por otro lado representa un problema mayor cuando el agua ya purificada es manipulada por el personal de la empresa en el momento de su embotellamiento dando lugar a una contaminación cruzada y a un desperdicio de la misma por no contar con un sistema apropiado de llenado.

La embotelladora Aqua Clara cuenta con un sistema de purificación aparentemente adecuado, pero en lo referente a su infraestructura no está correctamente organizada y distribuida, y a más de ello las tuberías por donde se transporta el agua no son las correctas provocando deficiencia en la calidad del producto final.

La dureza es otro parámetro que afecta no solo calidad del agua sino también a sus consumidores provocando efectos en su salud, como por ejemplo dermatitis atópica, eccemas, piel reseca, erupciones cutáneas, también es perjudicial para el sistema renal.

Aqua Clara es una empresa en desarrollo y crecimiento que actualmente cuenta con un proceso de purificación estándar pero se ve en la necesidad de realizar algunas modificaciones lo que le permitirá garantizar una agua de calidad y segura para sus clientes, consiguiendo resultados totalmente óptimos y calificados para el funcionamiento de la empresa, bajo certificaciones y permisos legales y vigentes de funcionamiento. Bajo la responsabilidad de que todo el proceso desde la recepción del agua hasta la entrega a los consumidores va a ser realizada bajo estrictos controles de calidad.

Las industrias tienen dificultades al momento de optar por la optimización de los procesos por el temor de efectuar cambios en los mismos, debido a muchos casos a la inversión onerosa de dinero y por el miedo a fracasar. Los nuevos procesos a aplicar demostrarán beneficios y mejoras, asegurando la calidad del producto y alargando su vida útil en la percha.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El agua es un producto de consumo diario; idealmente el cuerpo humano necesita consumir dos litros de agua, es por ello que para satisfacer esta necesidad cada vez son más las personas que consumen agua embotellada (Simbaña y Chiza, 2012).

Según la Revista Líderes (s.f), el mercado de agua embotellada en el país se ha diversificado en los últimos 10 años, gracias al ingreso de nuevos actores y productos; razón por la que esta industria se enfrenta cada vez a mayores exigencias. El agua es un producto indispensable para la vida y por tal motivo debe ser desarrollada y tratada con la más alta tecnología y cuidado, siguiendo rigurosos estándares de calidad.

En la actualidad la competencia es internacional y las industrias se están inclinando hacia procesos avanzados y optimizados con el fin de obtener productos que cumplan con altos estándares requeridos.

En el mercado ecuatoriano existen alrededor de 140 empresas que se dedican a la comercialización de agua envasada lista para el consumo humano, según datos recogidos por la Comisión de Defensa del Consumidor del antiguo Congreso (Macías, Orellana y Reyes, 2010, p. 18); entre ellas se encuentra Aqua Clara, una empresa que cuenta con un procedimiento de purificación que inicia con una doble filtración, ozonización, sistema UV y envasado, pese a ello se hace notable la importancia de la optimización del proceso en el sector industrial, como

consecuencia del incremento de nuevos procesos y tecnologías, así como un tratamiento adecuado hará que la planta mejore la calidad de agua para su consumo y comercialización.

La embotelladora Aqua Clara se dedica desde hace aproximadamente 5 años al proceso de purificación y embotellamiento de agua proveniente de vertientes, dicha empresa expende mensualmente agua embotellada lista para el consumo en alrededor de 2000 botellones de 20 L de polietileno, 40 botellas de 5 L, 2000 botellas de 0.5 L, 500 unidades de bolos en presentaciones de 0,25 L, 0,5 L y 1 L.

Diariamente purifica un total de 2000 L de agua en una jornada laboral de 8 horas; su producción es considerable y posee una gran demanda por parte de los consumidores especialmente de la región central de la ciudad; existe un alto riesgo de contaminación del producto, por lo tanto, necesita garantizar la inocuidad de los mismos.

Por ello, justifica la necesidad de optimizar su productividad a través de métodos que permitan mejorar la utilización eficiente de los recursos, reducir tiempos de preparación, minimizar errores, eliminar tiempos de espera logrando un flujo continuo en la línea, evitar retrasos, reducir el uso de insumos para lograr una mayor productividad de la empresa.

1.3. LÍNEA BASE DEL PROYECTO

1.3.1. Métodos para la medición de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos se encuentran establecidos según los métodos HACH y los Estándar Methods, que se detallan a continuación:

Tabla 1-1. Métodos físicos para caracterizar el agua envasada

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD
Sólidos Totales Disueltos	Standard Methods No. 2540 C	mg/L
pH	Standard Methods No. 4500-H ⁺ B	

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 2-1. Métodos químicos para caracterizar el agua envasada

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD
Cloro Libre Residual	Standard Methods No. 4500-Cl G	mg/L

Dureza Total	Stándar Methods No. APHA 2340 C	mg/L
---------------------	---------------------------------	------

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 3-1. Métodos organolépticos para caracterizar el agua envasada

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD
Color	Standard Methods No. 2120 C	UTC
Turbidez	EPA 180.1	NTU
Sabor	Standard Methods No. 2160 B	Inobjetable
Olor	Standard Methods No. 2150 B	Inobjetable

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 4-1. Métodos microbiológicos para caracterizar el agua envasada

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD
Aerobios Mesófilos	Standard Methods No. 9222 D y 9221	UFC/mL
Coliformes Totales	Standard Methods No. 9222 B	UFC/100mL

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

1.3.2. Metodología

A las muestras previamente recolectadas se realiza la caracterización físico-química y microbiológica, que consta de 10 parámetros especificados en la tabla 5-1.

Tabla 5-1. Requisitos Físicos, químicos y microbiológicos

No.	PARÁMETROS	UNIDAD
1	Color	UTC
2	Turbidez	NTU
3	Sólidos Totales Disueltos	mg/L
4	pH	
5	Cloro Libre Residual	mg/L
6	Dureza total	mg/L
7	Sabor	Inobjetable
8	Olor	Inobjetable

9	Aerobios Mesófilos	UFC/mL
10	Coliformes Totales	UFC/100mL

Fuente: Norma INEN 2200, 2008. (Agua Purificada Envasada. Requisitos).

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

1.3.2.1. Toma de Muestras

Se procede a tomar muestras representativas con el fin de realizar análisis de laboratorio para determinar sus características.

El agua que se tomó fue en un punto específico; a la salida de la línea de producción; es decir, luego del proceso de purificación de la misma con el fin de determinar el correcto funcionamiento de la línea de producción.

1.3.2.2. Manipulación de Muestras

Los análisis a realizar fueron físico-químicos y microbiológicos por ello se traslada la muestra en un envase plástico rotulado con la fecha, lugar y hora de donde procede el agua, por ello se optó por llevar una de las presentaciones de agua purificada envasada que comercializa la empresa, mismas que se encuentran herméticamente cerradas con el fin de impedir derrames o contaminación con agentes externos y así evitar resultados erróneos al momento de las lecturas en el laboratorio.

1.3.3. Métodos

Para ejecutar el presente proyecto se toma como referencia tres métodos: Método Inductivo, Método Deductivo y Método Experimental, los cuales facilitarán la ejecución de los tratamientos para llevar a cabo la Optimización del proceso en mención.

- **Método Inductivo**

Este método alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular. Por medio de la observación y la toma de muestras se puede realizar la caracterización inicial y final tanto físico-química como microbiológica, a través de análisis realizados en el laboratorio se determina las condiciones actuales de la planta y se procede a analizar los resultados obtenidos para proveer de un tratamiento adecuado al proceso

- **Método Deductivo**

En el desarrollo del proyecto se parte de los datos generales aceptados como valederos de la caracterización físico-química y microbiológica obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio que nos indican que el agua envasada está contaminada microbiológicamente y que no cumple en algunos parámetros según la NTE INEN 2200:08, lo que nos lleva a deducir por medio del razonamiento lógico los tratamientos extras que se le debe dar al agua en proceso de purificación mediante la selección adecuada de los materiales y reactivos para efectuar los cálculos pertinentes para determinar las variables del proceso.

- **Método Experimental**

En este método se recopila datos para comparar las mediciones de una muestra control, mediante la utilización de equipos e instrumentos adecuados para el tratamiento y análisis físico-químico y microbiológico del agua purificada. Demostrando mediante una simulación en el laboratorio los tratamientos más eficaces para la Optimización del Proceso de Purificación de Agua que será proporcionado a la Embotelladora “Aqua Clara”

1.3.4. Técnicas

La caracterización tanto inicial y final para los análisis físico-químicos y microbiológicos que se realizaron al agua envasada, se ejecutan bajo las técnicas que se encuentran establecidas en el manual de procedimientos técnicos del Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH. Basados en el Estándar Methods for Examination, Manual de Análisis de Agua y Métodos HACH. **Ver ANEXO A.**

1.3.5. Análisis

Luego de la toma de muestras realizadas y con los métodos y técnicas previamente establecidas se realizara los análisis físico-químicos y microbiológicos a la muestra de agua envasada que es la que interesa, se obtienen resultados los mismos que son tabulados estadísticamente con su respectiva representación gráfica que son comparados en base a la NTE INEN 2200:08. (AGUA PURIFICADA ENVASADA. REQUISITOS)

Los resultados de los análisis físicos-químicos y microbiológicos del agua purificada envasada son realizados en el Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección (LABCESTTA) y se encuentran en las Tablas 6-1 y 7-1, respectivamente.

Tabla 6-1. Análisis Fisicoquímicos del agua antes del tratamiento realizados en LABCESTTA

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE PERMISIBLE
Color	UTC	< 8	5
Turbidez	NTU	< 0.64	3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	316	500
pH		7,58	8,5
Cloro Libre Residual	mg/L	< 0,1	0
Dureza total	mg/L	300	300
Sabor	---	NO DETECTADO	Inobjetable
Olor	---	NO DETECTADO	Inobjetable

Fuente: CESTTA SGC, 2016. (Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección)

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 7-1. Análisis Microbiológicos del agua antes del tratamiento realizados en LABCESTTA

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE PERMISIBLE
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	690	$1,0 \times 10^2$
Coliformes Totales	UFC/100mL	43	$1,0 \times 10^0$

Fuente: CESTTA SGC, 2016. (Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspección)

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Con el fin de corroborar los análisis obtenidos en el Laboratorio acreditado también se hizo una caracterización físico-química y microbiológica del agua envasada en el Laboratorio de Calidad de Agua (ESPOCH).

Los resultados se muestran en las Tablas, 8-1, 9-1, respectivamente.

Tabla 8-1. Análisis Fisicoquímicos del agua antes del tratamiento realizados en el Laboratorio de Calidad de Agua - ESPOCH

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE PERMISIBLE
Color	UTC	11	5
Turbidez	NTU	5	3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	310	500
Ph	---	7,21	8,5
Cloro Libre Residual	mg/L	0,06	0

Dureza total	mg/L	293	300
Sabor	---	NO DETECTADO	Inobjetable
Olor	---	NO DETECTADO	Inobjetable

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 9-1. Análisis Microbiológicos del agua antes del tratamiento realizados en el Laboratorio de Calidad de Agua - ESPOCH

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE PERMISIBLE
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	INCONTABLE	$1,0 \times 10^2$
Coliformes Totales	UFC/100mL	$1,2 \times 10^3$	$1,0 \times 10^0$

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

1.3.5.1. Parámetros fuera de norma

Luego de los resultados obtenidos en el laboratorio se compara con los límites máximos permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2200, y es fácil determinar que están fuera de norma los siguientes parámetros:

Tabla 10-1. Parámetros fuera de norma.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE PERMISIBLE
Color	UTC	11	5
Turbiedad	NTU	5	3
Cloro Libre Residual	mg/L	0,06	0
Dureza	mg/L	293,3	300
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	>100	$1,0 \times 10^2$
Coliformes Totales	UFC/100mL	1290	$1,0 \times 10^0$

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Cabe resaltar que el parámetro de la Dureza se encuentra en el límite máximo permisible dándonos como consecuencia un agua dura según se observa en la Tabla 5-3. (Índices de Dureza)

1.3.6. Tratamientos para la Optimización.

Para lograr Optimizar el Proceso de Producción de Agua en la Embotelladora “Aqua Clara” se procede a realizar varios tratamientos para mantener los parámetros indicados anteriormente dentro de la norma especificada y de la misma manera lograr su control dentro de la planta y el aseguramiento de la calidad del producto.

1.3.6.1. Metodología del Tratamiento

Tabla 11-1. Tratamiento Físico-Químico

TRATAMIENTO	PROCEDIMIENTO
ZEOLITA NATURAL	<ul style="list-style-type: none">- Para este tratamiento se coloca dentro un lecho (botella plástica) una suficiente cantidad de zeolita natural.- Para activar el material se procede a un lavado con Cloruro de Sodio (Mal) al 10%.- Una vez ocurrida la activación del material se hace un lavado con agua destilada y finalmente se pasa la muestra por el interior del lecho con zeolita.
SULFATO DE ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none">- Se prepara una solución de sulfato de aluminio al 1%- Luego se toma una cantidad mínima (3mL) que se coloca en 1L de agua a tratar y se mezcla con un agitador.
RESINA CATIONICA	<ul style="list-style-type: none">- Previamente se prepara una solución de Cloruro de Sodio (Mal) al 10% la cual se hace pasar por un lecho que contenía 100 gr de resina catiónica para activar su poder de intercambio iónico.- Luego se hace un lavado con agua destilada varias veces y finalmente se procede a circular la muestra a tratar.
POLICLORURO DE ALUMINIO	<ul style="list-style-type: none">- Se coloca en tres envases 1 L del agua a tratar.- Luego se prepara una solución de policloruro de aluminio al 5%- Se coloca en el primer envase 1 mL de la solución preparada.- En el segundo recipiente se coloca 3 mL de la solución de policloruro de aluminio.- Finalmente en el tercer envase se coloca una

	<p>cantidad de 5 mL de PAC.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Y se deja reposar por 30 minutos antes de proceder con la medición de cada parámetro.
ABLANDADOR	<p>Activación de la Resina:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colocar dentro del filtro 600 g de resina catiónica. - Poner 500 g de carbón activado dentro de otro filtro. - Armar el equipo de filtros (desbaste, resina catiónica, carbón activado, cerámica) - Colocar en un tanque 20 L del agua limpia. - Agregar al agua 500 g de sal. - Encender el sistema hidroneumático. - Realizar el lavado y regeneración de la resina catiónica por un tiempo de 10 min mediante recirculación. <p>Lavado de la resina:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descartar el agua con sal. - Llenar el tanque con agua limpia. - Encender el sistema hidroneumático. - Dejar recircular por un tiempo aproximado de 10 min. - Si aún queda restos de sal, repetir el proceso al menos tres veces. <p>Ablandamiento del Agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desechar el agua del proceso anterior. - Colocar 25 L del agua dura en el tanque previsto. - Encender el sistema hidroneumático. - Dejar recircular el agua por el sistema. - Recoger la primera muestra en un envase esterilizado a los 15 min. - Repetir el paso anterior para la segunda muestra en un tiempo de 30 min. - Realizar un análisis fisicoquímico (dureza) en el laboratorio bajo la NTE INEN 2200.

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 12-1. Tratamiento Microbiológico

TRATAMIENTO	PROCEDIMIENTO
-------------	---------------

<p style="text-align: center;">HIPOCLORITO DE CALCIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se añade 1,5mg de hipoclorito de calcio al 65% de concentración en un 1L de agua a tratar y se deja reposar la muestra por un tiempo de 30 minutos. - Se procede a realizar los cultivos para determinar la carga bacteriana final.
---	--

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Finalizado los tratamientos mencionados anteriormente se realizó los análisis físicos-químicos y microbiológicos respectivamente al agua tratada.

Se hace un análisis de los resultados obtenidos para verificar cuál de los tratamientos utilizados resulta el más eficaz siendo este el tratamiento mediante intercambio iónico (Resina Catiónica); los resultados se muestran en la Tabla 34-3 y 35-3, respectivamente.

1.4. BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS

1.4.1. Directos.

- Embotelladora “Aqua Clara”.
- La comunidad cercana a la Embotelladora “Aqua Clara”.
- Los consumidores del agua purificada.

1.4.2. Indirectos.

- Proveedores de insumos.
- Actores en la línea de comercialización.

CAPITULO II

2.1. OBJETIVO GENERAL

Optimizar el Proceso de Producción de Agua de la Embotelladora *Aqua Clara* del Cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las condiciones actuales del proceso de producción de agua en la embotelladora Aqua Clara.
- Identificar las variables de diseño en la línea de producción para preservar la calidad del agua en base a la Norma INEN 2200.
- Establecer el proceso de optimización en la embotelladora Aqua Clara para preservar la calidad del agua en base a la Norma INEN 2200.
- Determinar el presupuesto requerido para el proceso de optimización de la embotelladora Aqua Clara.
- Evaluar el cumplimiento de optimización alcanzado en la línea de producción para preservar la calidad del agua en base a la Norma INEN 2200.

CAPÍTULO III

3.1. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Pelileo está localizado en el centro de la región interandina del Ecuador. Su capital es San Pedro de Pelileo y forma parte de la Provincia de Tungurahua. Según el Censo de 2010 cuenta con 56.573 habitantes.

Está ubicada a una a 18 km de la ciudad de Ambato, a una altura aproximada de 2636 m.s.n.m. Su latitud es 1°19'50" sur y su longitud es 78°32'34" oeste.

La temperatura media de Pelileo es de 17 °C, presenta un 85% de humedad y posee un clima templado y seco.

Los límites del Cantón Pelileo son:

- Al norte con el cantón Píllaro.
- Al sur con la provincia de Chimborazo.
- Al este con los cantones Baños y Patate.
- Al oeste con los cantones Ambato, Cevallos y Quero.

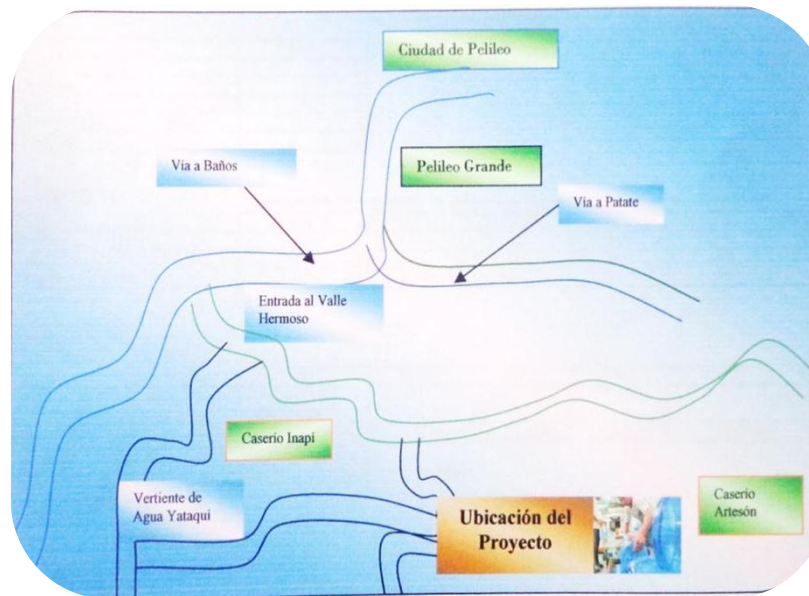


Mapa 1-3. Ubicación Geográfica del cantón Pelileo

Fuente: Google Maps, 2016.

3.1.1. Área de Estudio

El presente proyecto se lleva a cabo en la Embotelladora “Aqua Clara” ubicada en el caserío Yataquí, específicamente en el sector de Valle Hermoso, perteneciente al Cantón Pelileo, Provincia de Tungurahua.



Mapa 2-3. Ubicación de la Embotelladora “Aqua Clara”

Fuente: Embotelladora Aqua Clara, 2010

3.2. INGENIERÍA DEL PROYECTO

3.2.1. Aguas subterráneas

La calidad de los acuíferos dependen de la capacidad del agua para disolver compuestos del suelo mientras fluye al infiltrarse o durante su almacenamiento entre los que se encuentran cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro y manganeso) y aniones (carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros). Estos componentes se reflejan en problemas para el abastecimiento como los que ocurren por las aguas duras, conductividad elevada y alteraciones estéticas ocasionadas por el hierro (Fe) y manganeso (Mn). (Bvsde, 2008, p.6)

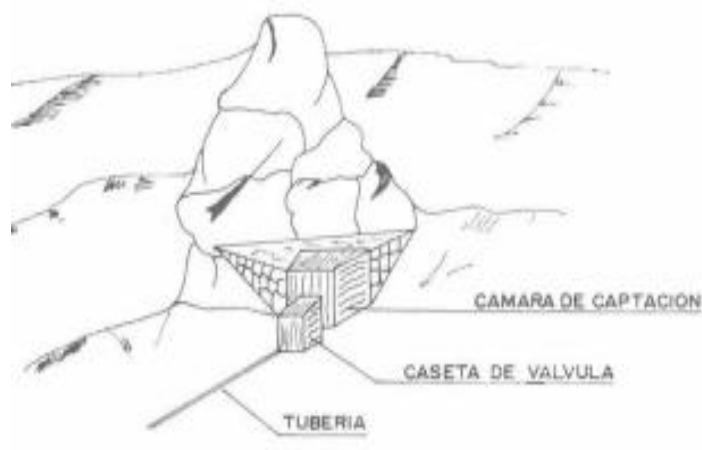


Figura 1-3. Captación de agua subterránea

Fuente: Bvsde, 2008, p.6

3.2.1. Agua Purificada Envasada

“Se considera agua purificada envasada, carbonatada o no, a las aguas destinadas al consumo humano que sometidas a un proceso fisicoquímico y de desinfección de microorganismos, cumple con los requisitos establecidos en esta norma y es envasada en recipientes de cierre hermético e inviolable, fabricados de material grado alimenticio.” (NTE INEN, 2008, p.4)

3.2.2. Estándar Del Proceso de Purificación

El proceso de purificación del agua consta de las siguientes etapas:

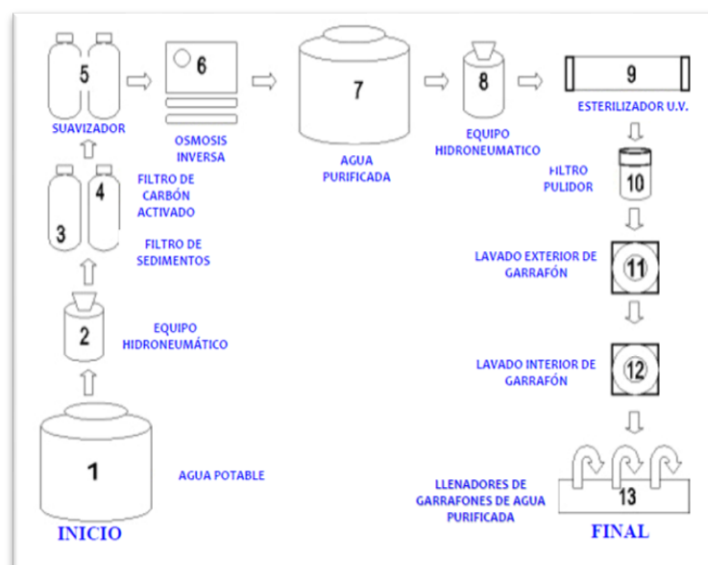


Figura 2-3. Estándar del Proceso de Purificación del Agua

Fuente: ACQUA, Agua Purificada

3.2.3. Características Físicas, Químicas y Microbiológicas.

Tabla 1-3. Parámetros Organolépticos

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Color	<p>El color es un parámetro ligado a la turbiedad y se considera como una característica independiente. Así mismo es considerado de vital importancia frente al consumidor cuando se trata de agua envasada por motivo de salud. Se expresa en unidades de color (UC).</p> <p>Entre las causas más comunes que ocasiona el color, están:</p> <p>Por descomposición vegetal de las plantas (humus)</p> <p>Por disolución de ciertos minerales (hierro y magnesio)</p>
Turbiedad	<p>Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. Se expresa en unidades de turbiedad (UNT) y se mide con el turbidímetro.</p> <p>Entre las causas más comunes que ocasionan la turbidez al agua, están:</p> <p>Origen inorgánico (arcilla, arenas, etc.)</p> <p>Material orgánico (microorganismos, limus, etc.)</p> <p>La turbiedad puede incidir en la eficiencia de algunos procesos de tratamiento de agua como por ejemplo en el caso de la filtración y desinfección.</p>
Olor y Sabor	<p>Se encuentran íntimamente ligados y se definen como la presencia de sustancias indeseables provocando rechazo por parte del consumidor. Se deben a:</p> <p>Presencia de plancton</p> <p>Compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas</p> <p>Desechos industriales</p> <p>Descomposición de la materia orgánica</p> <p>No existen instrumentos para medir estos parámetros en el agua.</p>

Fuente: SIERRA, Carlos. Calidad del agua, Evaluación y Diagnóstico. Pp. 55-57

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 2-3. Parámetros Físicos

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Sólidos Totales Disueltos	<p>Se define a los TDS como la materia disuelta o suspendida que se encuentra en un medio acuoso. La cantidad de sólidos presente en el agua afecta adversamente su calidad de varias formas y no son aceptadas para el consumidor y una cantidad excesiva de estos puede inducir a reacciones adversas para la salud.</p> <p>Los análisis realizados de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de los procesos de tratamiento de agua y su concentración esta correlacionado con la conductividad.</p>

pH	<p>Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua y se sabe que este parámetro se encuentra en una escala de 0 a 14. Se mide con el pH-metro. Cambios de pH ocasiona:</p> <p>Cambios en la flora y fauna de los cuerpos de agua.</p> <p>Ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos, como amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, etc.</p>
-----------	---

Fuente: SIERRA, Carlos. Calidad del agua, Evaluación y Diagnóstico. Pp. 59

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 3-3. Parámetros Químicos

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Cloro Libre Residual	<p>El cloro adquiere en el agua diversas formas, cada una de ellas con un poder desinfectante diferente que evoluciona con el tiempo, según la cantidad de materia orgánica, concentración de cloro, temperatura, radiación solar, etc. Si se añade suficiente cloro, quedará un poco en el agua luego de que se eliminen todos los organismos; se le llama cloro libre y es la cantidad de cloro en el agua en forma de ácido hipocloroso o hipoclorito. El cloro libre permanece en el agua hasta perderse en el mundo exterior o hasta usarse para contrarrestar una nueva contaminación.</p>
Dureza	<p>Propiedad que poseen algunas aguas para cortar la acción del jabón. Aguas duras a elevadas temperaturas ocasionan incrustaciones en los equipos mecánicos y en tuberías. Es ocasionada principalmente por:</p> <p>Presencia de cualquier catión divalente en el agua, principalmente Ca^{2+} y Mg^{2+}.</p> <p>Se mide en mgCaCO_3/L y el proceso que se utiliza para tratar la dureza se llama ablandamiento o suavización.</p>

Fuente: SIERRA, Carlos. Calidad del agua, Evaluación y Diagnóstico. Pp. 64

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 41-3. Parámetros Microbiológicos

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Aerobios Mesófilos	<p>Se este grupo se encuentran las bacterias, mohos y levaduras y este parámetro refleja la calidad sanitaria de un alimento, las condiciones de manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima.</p> <p>Un recuento de aerobios Mesófilos puede indicar</p> <p>Excesiva contaminación de la materia prima</p> <p>Deficiente manipulación en el proceso de elaboración</p> <p>Alteración inmediata del producto final</p>

Coliformes Totales	<p>La presencia de Coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está siendo contaminado con materia orgánica casi exclusiva de origen fecal, ya sea por humanos o animales.</p> <p>Las características de sobrevivencia y la capacidad del grupo Coliformes para multiplicarse fuera del intestino también se observan en aguas potables, conforme mayor sea el número de Coliformes en agua, mayor será la probabilidad de estar frente a una contaminación reciente.</p>
---------------------------	---

Fuente: SIERRA, Carlos. Calidad del agua, Evaluación y Diagnóstico. Pp. 83

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.4. Cálculos para el proceso de purificación de agua

3.2.4.1. Dureza

La dureza se expresa en equivalentes de carbonato de calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua. Esta cantidad de sales afecta a la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con agua y representa una serie de problemas de incrustación en equipo industrial y doméstico, además de resultar nociva para consumo humano (Catarina. UDALP, p. 12).

Tabla 52-3. Índices de Dureza del Agua

TIPOS DE AGUA	ppm CaCO_3
Muy suaves	0 – 15
Suaves	16 – 75
Medias	76 – 150
Duras	150 – 300
Muy duras	Mayor a 300

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Fuente: Catarina. UDALP. Dureza del Agua. p. 12

La aceptación del público es variable de un lugar a otro, y su sensibilidad depende del grado de dureza al que las personas estén acostumbradas. Muchos de los consumidores ponen objeción cuando la dureza del agua excede de 150 mg/L CaCO_3 .

3.2.4.1.1. Determinación de la Dureza

La dureza se determina mediante el método EDTA, con la siguiente ecuación:

$$[CaCo_3] = \frac{V_1 * M * 10^5}{V} \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

$[CaCo_3]$ = Dureza total en mg/L

V_1 = Volumen gastado de EDTA en mL (3,5 mL)

M = Molaridad exacta del EDTA (0,02)

V = Volumen de la muestra en mL (25 mL)

- **Para el agua antes del tratamiento**

$$[CaCo_3] = \frac{3,5 * 0,02 * 10^5}{25}$$

$$[CaCo_3] = 280 \text{ mg/L}$$

Tabla 6-3. Determinación de la Dureza antes del tratamiento

MUESTRA	CONSUMO DE EDTA (mL)	DUREZA (mgCaCO ₃ /L)
1	3,5	280
2	3,5	280
3	4,0	320
	Promedio	293,33

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

- **Para el agua después del tratamiento**

$$[CaCo_3] = \frac{0,4 * 0,02 * 10^5}{25}$$

$$[CaCo_3] = 32 \text{ mg/L}$$

Tabla 7-3. Determinación de la Dureza después del tratamiento

MUESTRA	CONSUMO DE EDTA (mL)	DUREZA (mgCaCO ₃ /L)
1	0,4	32
2	0,3	24
3	0,4	32
	Promedio	29,3

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.4.1.2. Cantidad de Calcio

Viene dado por la siguiente ecuación:

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_2 * M * 4000}{V} \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

$[Ca^{2+}]$ = Cantidad de Calcio en mg/L

V_2 = Volumen de EDTA en mL (3.5 mL)

M = Molaridad exacta del EDTA 0,02

V = Volumen de la muestra en mL (25 mL)

- **Para el agua antes del tratamiento**

$$[Ca^{2+}] = \frac{3,5 * 0,02 * 4000}{25}$$

$$[Ca^{2+}] = 28 \text{ mg/L}$$

Tabla 83-3. Determinación de Calcio antes del tratamiento

MUESTRA	CONSUMO DE EDTA (mL)	CALCIO (mgCa/L)
1	3,5	11,2
2	3.5	11,2

3	4,0	12,8
	Promedio	11,73

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

- Para el agua después del tratamiento

$$[Ca^{2+}] = \frac{0,4 * 0,02 * 4000}{25}$$

$$[Ca^{2+}] = 1,28 \text{ mg/L}$$

Tabla 9-3. Determinación de Calcio después del tratamiento

MUESTRA	CONSUMO DE EDTA (mL)	CALCIO (mgCa/L)
1	0,4	1,28
2	0,3	0,96
3	0,4	1,28
	Promedio	1,17

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.4.1.3. Cantidad de Magnesio

La cantidad del magnesio está definida por la siguiente ecuación:

$$[Mg^{2+}] = \text{Dureza total} - [Ca^{2+}] \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde:

$[Mg^{2+}]$ = Cantidad de Magnesio en mg/L

Dureza Total: en mg/L (280 mg/L)

$[Ca^{2+}]$: Cantidad de Calcio en mg/L (11,2 mg/L)

- Para el agua antes del tratamiento

$$Mg^{2+} = 280 - [11,2]$$

$$Mg^{2+} = 268,8 \text{ mg/L}$$

Tabla 10-3. Determinación de Magnesio antes del tratamiento

MUESTRA	DUREZA TOTAL (mgCaCO ₃ /L)	MAGNESIO (mgMg/L)
1	280	268,8
2	280	268,8
3	320	307,2
	Promedio	281,6

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

- Para el agua después del tratamiento

$$Mg^{2+} = 32 - [1,28]$$

$$Mg^{2+} = 30,72 \text{ mg/L}$$

Tabla 114-3. Determinación de Magnesio después del tratamiento

MUESTRA	DUREZA TOTAL (mgCaCO ₃ /L)	MAGNESIO (mgMg/L)
1	32	30,72
2	24	23,04
3	32	30,72
	Promedio	28,16

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.4.1.4. Área de la Caja Petri

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

A: Área de la caja Petri (cm²)

r²: Radio de la caja Petri en cm (2,25 cm)

$$A = \pi * (2,25)^2$$

$$A = 15,90 \text{ cm}^2$$

3.2.4.1.5. Cantidad de Coliformes Totales

$$C = A * b \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

C= Cantidad de Coliformes Totales en UFC/100mL

A= Área de la caja Petri en cm² (15,90 cm²)

b= Cantidad aproximada de Coliformes Totales por área de filtro de membrana, adimensional (9 x 9 = 81 cantidad aproximada)

- **Para el agua antes del tratamiento**

$$C = 15,90 * 81$$

$$C = 1287,9$$

$$C = 1,2 \times 10^3 \text{ UFC/100mL}$$

3.2.4.2. Resina de Intercambio Iónico



Figura 3-3. Resina Catiónica

Fuente: iWater, (Resina catiónica suavizadora)

“Son materiales sintéticos, sólidos e insolubles en agua, que se presentan en forma de esferas o perlas de entre 0.3 a 1.2 mm de tamaño efectivo, también hay en forma de polvo. Están compuestas de una alta concentración de grupos polares, ácidos o básicos, incorporados a una matriz de un polímero sintético (resinas estirénicas, resinas acrílicas, etc.) y actúan tomando iones de las soluciones (generalmente agua) y cediendo cantidades equivalentes de otros iones” (Saldarriaga, 2011)

- **Tipos de resina de Intercambio Iónico**

a. Resinas catiónicas de ácido fuerte.

- Resinas catiónicas de sodio: eliminan la dureza del agua por intercambio de sodio por el calcio y el magnesio.

- Resinas catiónicas de hidrógeno: pueden eliminar todos los cationes (calcio, magnesio, sodio, potasio, etc.) por intercambio con hidrógeno.

b. Resinas catiónicas de ácidos débiles: eliminan los cationes que están asociados con bicarbonatos

c. Resinas aniónicas de bases fuertes: eliminan todos los aniones. Su uso se ha generalizado para eliminar aniones débiles en bajas concentraciones, tales como: carbonatos y silicatos.

d. Resinas aniónicas de base débil: eliminan con gran eficiencia los aniones de los ácidos fuertes, tales como sulfatos, nitratos y cloruros.

Tabla 12-3. Hoja Técnica de la Resina

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO	
NOMBRE DEL PRODUCTO	IONAC C-249
FAMILIA QUÍMICA	Resina de intercambio catiónico
PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	
ESTADO FÍSICO	Sólido
TEMPERATURA DE ENCENDIDO AUTOMATICO	>500°C (>932°F)
COLOR	Marrón
OLOR	Inodoro
pH	6,5 a 8,5
DENSIDAD	1,3 g/cm ³
SOLUBILIDAD	Insoluble en los siguientes materiales: agua fría.
CAPACIDAD TOTAL DE INTERCAMBIO (mínimo)	1,9 meq/mL
PROFUNDIDAD DE LA CAMA	35 cm

GRANULOMETRÍA	
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	1,6
TAMAÑO EFECTIVO DEL GRANO	0,50 mm

Fuente: LANXESS, Sybron. Material Safety Data Sheet. Pp. 1, 3

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.4.2.1. Capacidad de intercambio de la resina

$$R = V_3 * D \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

R= Cantidad de iones duros eliminados del agua en (meq)

V₃= Volumen de agua blanda en L (2000 L)

D= Dureza del agua en meq/L (14,65 meq/L)

$$R = 2000 * 14,65$$

$$R = 29\,300 \text{ meq}$$

3.2.4.3. Filtración Lenta

El diseño del filtro será para un caudal de 0,276 L/s, el filtro de resina será construido de policarbonato. El objetivo del filtro lento es bajar la concentración de iones Ca² y Mg² en el agua, y también será utilizada para bajar otros parámetros importantes del agua como el color y la turbiedad, y residuos de cloro libre residual mediante la resina.

3.2.4.3.1. Número de filtros

De acuerdo con Mcrill y Wallace, el número de filtros puede estimarse a partir de:

$$N = 0,044\sqrt{Q} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

N= Número de filtros, adimensional

Q= Caudal de diseño en m³/h (0,9936 m³/h)

$$N = 0,044\sqrt{0,9936}$$

$$N = 0,044 \approx 2$$

Se recomienda siempre dos filtros por lo mínimo.

3.2.4.3.2. Área superficial

La velocidad de filtración fluctúa entre 0.1 y 0.9 m/h. A mayor contaminación del agua menor velocidad de filtración.

$$A_s = \frac{Q}{N \times V_f} \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

A_s = Área superficial en m^2

Q = Caudal de diseño en m^3/h (0,9936 m^3/h)

N = Número de filtros, adimensional (2)

V_f =Velocidad de filtración (0.8 m/h)

$$A_s = \frac{0,9936}{2 \times 0,8}$$

$$A_s = 0,621 m^2$$

3.2.4.3.3. Coeficiente del mínimo costo

El coeficiente de mínimo costos se determina mediante el número de filtros.

$$k = \frac{2 \times N}{N+1} \quad \text{Ec. 9}$$

Dónde:

K = Coeficiente de mínimo costo, adimensional

N = Número de filtros, adimensional (2)

$$k = \frac{2 \times 2}{2 + 1}$$

$$k = 1,33$$

3.2.4.3.4. Longitud de unidad

La longitud del filtro se calcula con la siguiente ecuación:

$$L = (A_s \times K)^{1/2} \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde:

L= Longitud de la unidad (m)

A_s= Área superficial en m² (0,621 m²)

K= Coeficiente de mínimo costo (adimensional) (1,33)

$$L = (0,621 \times 1,33)^{1/2}$$

$$L = 0,91 \text{ m}$$

3.2.4.3.5. Ancho de la unidad

El ancho del filtro se determina mediante la ecuación:

$$B = \frac{A_s^{1/2}}{K} \quad \text{Ec. 11}$$

Dónde:

B= Ancho del filtro en m

A_s= Área superficial en m² (0,621 m²)

K= Coeficiente de mínimo de costo, adimensional (1,33)

$$B = \frac{0,621^{1/2}}{1,33}$$

$$B = 0,68 \text{ m}$$

3.2.4.3.6. Altura del filtro

La altura del agua sobrenadante debe variar entre 1.0 y 1.50 m.

La altura del filtro se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + F_c) \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

Z_f = Altura del filtro en m

f_s = Factor de seguridad en %

C_a = Altura del agua sobrenadante en m (1,0 m)

L_a = Altura del lecho filtrante en m (0,7 m)

C_s = Altura de la capa de soporte en m (0,3 m)

F_c = Altura del drenaje en m (0,6 m)

$$Z_f = 1.10(1,0 + 0,7 + 0,3 + 0,6)$$

$$Z_f = 2,86 \text{ m}$$

3.2.4.4. Sistema de drenaje

“Los drenes se diseñaran para generar una distribución correcta y uniforme del agua de lavado y recoger el agua filtrada.” (Morales María Augusta, 2014. p. 32)

Tabla 13-3. Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje

CRITERIOS DE DISEÑO	VALORES RECOMENDADOS
Velocidad de entrada	0,3 m/s
Velocidad de salida	2,0 m/s
Número de laterales por lado	2,0 - 4,0
Espacio entre los laterales	2,0 – 4,0 m

3.2.4.4.1. Área de cada orificio

El área de los orificios laterales se determina mediante la ecuación:

$$A_o = \frac{\pi \times D_l^2}{4} \quad \text{Ec. 13}$$

Dónde:

A_o = Área de cada orificio en m^2

D_l = Diámetro de la tubería en cm (Tabla 12-3. Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje) (0,4 cm)

$$A_o = \frac{\pi \times 0,004^2}{4}$$

$$A_o = 1,26 \times 10^{-5} m^2$$

3.2.4.4.2. Caudal que ingresa a cada orificio

El caudal de ingreso a cada orificio se determina mediante la ecuación:

$$Q_o = A_o \times v_{or} \quad \text{Ec. 14}$$

Dónde:

Q_o = Caudal que ingresa a cada orificio en m^3/s

v_{or} = Velocidad en el orificio en m/s (Tabla 12-3 Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje) (0,3 m/s)

A_o = Área de cada orificio en m^2 ($1,26 \times 10^{-5} m^2$)

$$Q_o = 1,26 \times 10^{-5} \times 0,3$$

$$Q_o = 3,78 \times 10^{-6} m^3/s$$

3.2.4.4.3. Número de laterales

El número de laterales se calcula por la ecuación:

$$N_L = n_L \times \frac{Lt_p}{e_L} \quad \text{Ec. 15}$$

Dónde:

N_L= Número de laterales, adimensional (2)

Lt_p= Longitud total del filtro en m (0,91 m)

e_L= Separación entre laterales en m (Tabla 12-3 Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje) (2m)

n_L= Número de laterales por lado, adimensional (Tabla 12-3 Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje)

$$N_L = 2 \times \frac{0,91}{2}$$

$$N_L = 0,91 \approx 1$$

3.2.4.4.4. Tubería de entrada al filtro

El diámetro de la tubería de entrada al filtro se determina en base la velocidad del agua a través de la tubería de entrada.

$$D_T = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v_e \times \pi}} \quad \text{Ec. 16}$$

Dónde:

D_T= Diámetro de la tubería de entrada al filtro en m

Q= Caudal de diseño para cada filtro en m³/s (0,000276 m³/s)

v_e= Velocidad en la tubería en m/s (Tabla 12-3 Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje) (0,3 m/s)

$$D_T = \sqrt{\frac{4 \times 0,000276}{0,3 \times \pi}}$$

$$D_T = 0,034 \text{ m}$$

3.2.4.4.5. Tubería a la salida del filtro

La tubería de salida del filtro se diseña con base en criterios de la velocidad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v_s \times \pi}} \quad \text{Ec. 17}$$

Dónde:

D_{TS}= Diámetro de la tubería de entrada al filtro (m)

Q= Caudal de diseño para cada filtro en m³/s (0,000276 m³/s)

v_s= Velocidad en la tubería en m/s (Tabla 12-3 Criterios de Diseño del Sistema de Drenaje) (2 m/s)

$$D_{Ts} = \sqrt{\frac{4 \times 0,000276}{2 \times \pi}}$$

$$D_{Ts} = 0,013 \text{ m}$$

3.2.4.5. Sistema de Lavado del Filtro

El lavado de filtros consiste, convencionalmente, en hacer pasar agua de modo ascensional por el lecho filtrante a una velocidad tal que los granos del medio filtrante se muevan a través de flujo ascensional, se froten unos contra otros y se limpien de los depósitos de la mugre formados sobre ellos. (Romero Rojas, 2006)

3.2.4.5.1. Velocidad óptima de lavado

La velocidad óptima de lavado se determina mediante la ecuación:

$$v_l = Cu \times Te \quad \text{Ec. 18}$$

Dónde:

v_l = Velocidad óptima de lavado en m/min

C_u = Coeficiente de uniformidad (Tabla 12-3.Hoja Técnica de la Resina) (1,6)

T_e = Tamaño efectivo de la resina en mm (Tabla 12-3.Hoja Técnica de la Resina) (0,5 mm)

$$v_l = 1,6 \times 0,5$$

$$v_l = 0,8 \text{ mm/min}$$

$$v_l = 0,0008 \text{ m/min}$$

3.2.4.5.2. Cantidad de agua para lavado

La determinación del volumen necesario para el lavado del filtro viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_l = v_l \times A_s \times t \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde:

V_l = cantidad de agua para el lavado en m^3

v_l = Velocidad óptima de lavado en m/min (0,0008 m/min)

A_s = Área superficial en m^2 (0,621 m^2)

t = Tiempo óptimo de lavado en min (10 min)

$$V_l = 0,0008 \times 0,621 \times 10$$

$$V_l = 0,005 \text{ m}^3$$

$$V_l = 5000 \text{ cm}^3$$

3.2.4.6. Desinfección

Los Hipocloritos son sales del ácido hipocloroso, actúan de la misma manera que el cloro elemental, su efecto en el pH es mayor.

El hipoclorito de calcio tiene cerca de un 70% de cloro disponible, es blanco, no higroscópico, corrosivo, con un olor muy fuerte a cloro y puede ser granular, en polvo o tabletas.

El hipoclorito de sodio, se consigue solo en forma de solución concentraciones que varían entre 5 - 15 %, son relativamente claras, ligeramente amarillenta, fuertemente alcalina y con fuerte olor a cloro. (Morales, 2014. p. 56)

3.2.4.6.1. Peso necesario de cloro a dosificar

El peso de cloro necesario para tratar el agua viene dado por:

$$P_{Cl} = \frac{Q \times D_{Cl} \times 86400}{1000} \quad \text{Ec. 20}$$

Dónde:

P_{Cl} = Peso necesario de cloro en kg/d

Q = Caudal de diseño en m³/s (0,000276 m³/s)

D_{Cl} = Dosis de cloro en mg/L (1,5 mg/L)

$$P_{Cl} = \frac{0,000276 \times 1,5 \times 86400}{1000}$$

$$P_{Cl} = 0,036 \text{ kg/d}$$

3.2.4.6.2. Volumen del hipoclorador

El volumen del hipoclorador se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V_{HCl} = \frac{P_{Cl}}{5C} \quad \text{Ec. 21}$$

Dónde:

V_{HCl} = Volumen del hipoclorador en m³

P_{Cl}= Peso necesario de cloro en kg/d (0,036 kg/d)

5C= Concentración de la solución en % (65 %)

$$V_{HCl} = \frac{0,036}{5(65)}$$

$$V_{HCl} = 0,00011 \text{ m}^3$$

3.2.4.6.3. Volumen del tanque de mezcla de cloro

El tanque se diseña para realizar la adición del cloro al agua, el mismo que servirá como tanque de almacenamiento, cuyo volumen se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{Tc} = Q * t_c * f_s \quad \text{Ec. 22}$$

Dónde:

V_{Tc}= Volumen del tanque en m³

Q= Caudal de diseño en m³/s (0,000276 m³/s)

t_c= Tiempo de contacto en s (30 min - 1800 s)

f_s= factor de seguridad en % (10%)

$$V_{Tc} = 0,000276 * 1800 * 1.10$$

$$V_{Tc} = 0,55 \text{ m}^3$$

3.2.4.6.4. Altura del tanque de mezcla de cloro

La altura del tanque de mezcla para el cloro, el mismo que servirá como tanque de almacenamiento.

$$H_{Tc} = \frac{V_{Tc}}{A_{Tc}} \quad \text{Ec. 23}$$

Dónde:

H_{Tc} = Altura del tanque para la mezcla de cloro (m)

V_{Tc} = Volumen del tanque para la mezcla de cloro en m^3 (0,55 m^3)

A_{Tc} = Área del tanque para la mezcla de cloro en m^2 (2 m^2)

$$H_{Tc} = \frac{0,55}{2}$$

$$H_{Tc} = 0,275 \text{ m}$$

3.2.4.7. Rendimiento de las pruebas de tratabilidad

El rendimiento de las pruebas de tratabilidad, permite establecer la eficiencia del proceso de optimización para el proceso de purificación de agua, mediante las siguientes ecuaciones:

$$S_o \rightarrow 100\%$$

$$S_e \rightarrow x \%$$

$$x \% = \frac{S_e \times 100\%}{S_o} \quad \text{Ec. 24}$$

$$\%Re = 100 - x \% \quad \text{Ec. 25}$$

Dónde:

$x \%$ = Porcentaje de rendimiento (%)

S_o = Concentración del agua inicial (mg/L)

S_e = Concentración del agua tratada (mg/L)

$\%Re$ = Porcentaje de remoción (%)

Tabla 14-3. Porcentaje de Remoción del proceso de intercambio iónico

PARÁMETRO	UNIDAD	S_o	S_e	$\% x$	$\%Re$
Color	UTN	11	0,1	0,91	99,09
Turbiedad	NTU	5	1	20	80
Cloro Libre residual	mg/L	0,06	0	0	100
Dureza	mg/L	293,3	29,3	9,99	90,01

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 15-3. Porcentaje de Remoción del proceso de cloración

PARÁMETRO	UNIDAD	S _o	S _e	% x	%Re
Coliformes Totales	UFC/100mL	1287,9	0	0	100
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	Incontable	<100		>99

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Mediante la caracterización físico-química y microbiológica del agua envasada se determina valores de: Color, Turbiedad, Cloro Libre Residual, Dureza, Coliformes Totales y Aerobios Mesófilos fuera de sus valores máximos permisibles al ser comparados con la Norma INEN 2200:08 (AGUA PURIFICADA ENVASADA. REQUISITOS).

En los gráficos 1-3, 2-5, 3-6, 4-7, y 5-8 se observa la disminución de cada parámetro tratado y el porcentaje de remoción de cada uno de los procesos de tratamiento.

3.2.4.8. Cálculos de la dosificación de químicos

3.2.4.8.1. Cantidad de resina catiónica necesarios para el filtro lento.

En primer lugar debemos determinar el volumen de resina que necesita nuestro filtro lento, esto lo hacemos basándonos en el área superficial del filtro y la altura del medio.

$$V = A_s \times H_{medio}$$

Dónde:

$$A_s = 0,621 \text{ m}^2$$

$$H_{medio} = 0,35 \text{ m}$$

$$V = 0,621 \times 0,35$$

$$V = 0,217 \text{ m}^3$$

Experimentalmente en el laboratorio se determinó que 100 gramos de resina catiónica ocupa un volumen de 0.000135 m³.

La resina viene en una presentación equivalente de 28,316 L = 1 pie cúbico, es por ello que se utilizó la densidad de la misma y con el volumen anterior determinamos la cantidad de resina necesaria.

$$0,217 \text{ m}^3 \times \frac{100 \text{ g resina}}{1,35 \times 10^{-4} \text{ m}^3} \times \frac{\text{cm}^3}{1,3 \text{ g resina}} \times \frac{1 \text{ ft}^3 \text{ resina}}{28\,300 \text{ cm}^3 \text{ resina}} = 4,37 \text{ ft}^3 \text{ resina}$$

3.2.4.8.2. Litros de NaCl 10% necesarios para la activación de la resina

Experimentalmente se activó 100 gramos de resina con 100 mL de NaCl.

Para determinar la cantidad de solución activante para la cantidad de resina antes determinada, aplicamos una regla de tres.

$$4,37 \text{ ft}^3 \text{ resina} \times \frac{28\,300 \text{ cm}^3}{1 \text{ ft}^3 \text{ resina}} \times \frac{1,3 \text{ g resina}}{\text{cm}^3} = 160772,3 \text{ g resina}$$

$$160772,3 \text{ g resina} \times \frac{100 \text{ mL NaCl}}{100 \text{ g resina}} = 160772,3 \text{ mL NaCl}$$

$$160772,3 \text{ mL NaCl} \times \frac{1 \text{ L NaCl } 10\%}{1000 \text{ mL NaCl } 10\%} = 160,78 \text{ L NaCl}$$

3.2.4.8.3. Kilogramos de NaCl 10% necesarios para la activación de la resina

La solución activante es NaCl 10%, esto significa que 10 gr de NaCl se disuelven en 100 mL de agua, en nuestro volumen de diseño necesitamos.

$$160772,3 \text{ mL NaCl} \times \frac{10 \text{ g NaCl}}{100 \text{ mL}} \times \frac{1 \text{ Kg NaCl}}{1000 \text{ g NaCl}} = 16,08 \text{ Kg NaCl}$$

3.2.5. Resultados

3.2.5.1. Resultados del Dimensionamiento

3.2.5.1.1. Resultados de la Dureza y Coliformes Totales

Tabla 16-3. Resultados Experimentales del Agua

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Dureza antes del tratamiento	293,33	mg/L

Dureza después del tratamiento	29,3	mg/L
Cantidad de Calcio antes del tratamiento	11,73	mg/L
Cantidad de Calcio después del tratamiento	1,17	mg/L
Cantidad de Magnesio antes del tratamiento	281,6	mg/L
Cantidad de Magnesio después del tratamiento	28,16	mg/L
Área de la Caja Petri	15,90	cm ²
Cantidad de Coliformes Totales antes del tratamiento	1,2x10 ³	UFC/100mL

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.1.2. Resultados de la Resina de Intercambio Iónico

Tabla 17-3. Resultados para la Resina

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Capacidad de intercambio de la resina	29 300	meq

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.2. Resultados para el Diseño del Filtro

Tabla 18-3. Resultados para el Filtro

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Número de filtros	2	--
Área superficial del filtro	0,621	m ²
Coefficiente del mínimo costo	1,33	--
Longitud de la unidad	0,91	m
Ancho de la unidad	0,68	m
Altura del filtro	2,86	m

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.3. Resultados para el Diseño del Sistema de Drenaje

Tabla 19-3. Resultados para el Sistema de Drenaje

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Área de cada orificio	$1,26 \times 10^{-5}$	m ²
Caudal que ingresa a cada orificio	$3,78 \times 10^{-6}$	m ³ /s
Número de laterales	1	--
Diámetro de la tubería de entrada al filtro	0,034	m
Diámetro de la tubería de salida al filtro	0,013	m

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.4. Resultados para el Sistema de Lavado del Filtro

Tabla 20-3. Resultados para el Sistema de Lavado del Filtro

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Velocidad óptima de lavado	0,0008	m/min
Cantidad de agua para lavado	0,005	m ³

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.5. Resultados para la Desinfección

Tabla 215-3. Resultados para la Cloración

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Peso necesario de cloro a dosificar	0,036	Kg/d
Volumen del Hipoclorador	0,00011	m ³
Volumen del tanque de mezcla de cloro	0,55	m ³
Altura del tanque de mezcla de cloro	0,11	m

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.6. Resultados para Dosificación de Químicos

Tabla 22-3. Resultados para la dosificación de químicos

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES
Cantidad de resina catiónica	4,37	ft ³

necesaria para el filtro		
Volumen de NaCl necesarios para activación de la resina	160,78	L
Cantidad de NaCl necesarios para la activación de la resina	16,08	Kg

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.7. Resultados de la Caracterización Final

3.2.5.7.1. Resultados después del tratamiento con resina catiónica

Tabla 23-3. Análisis Fisicoquímicos del agua después del tratamiento

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Color	UTC	0,1	5
Turbidez	NTU	1	3
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	340	500
pH	---	7,94	8,5
Cloro Libre Residual	mg/L	0	0
Dureza total	mg/L	29,3	300
Sabor	---	NO DETECTADO	Inobjetable
Olor	---	NO DETECTADO	Inobjetable

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 246-3. Análisis Microbiológicos del agua después del tratamiento

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	< 100	$1,0 \times 10^2$
Coliformes Totales	UFC/100mL	< 1	$1,0 \times 10^0$

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Fuente: Laboratorio de calidad de agua – ESPOCH

3.2.5.8. Resultados de la remoción de los parámetros fuera del límite permisible

3.2.5.8.1. Características Físicas

Tabla 257-3. Caracterización del color del agua inicial y tratada

Agua – Color (UTC)		Limite Permisible (UTC)	Remoción (%)
Inicial	Tratada		
11	0,1	5	99,09

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

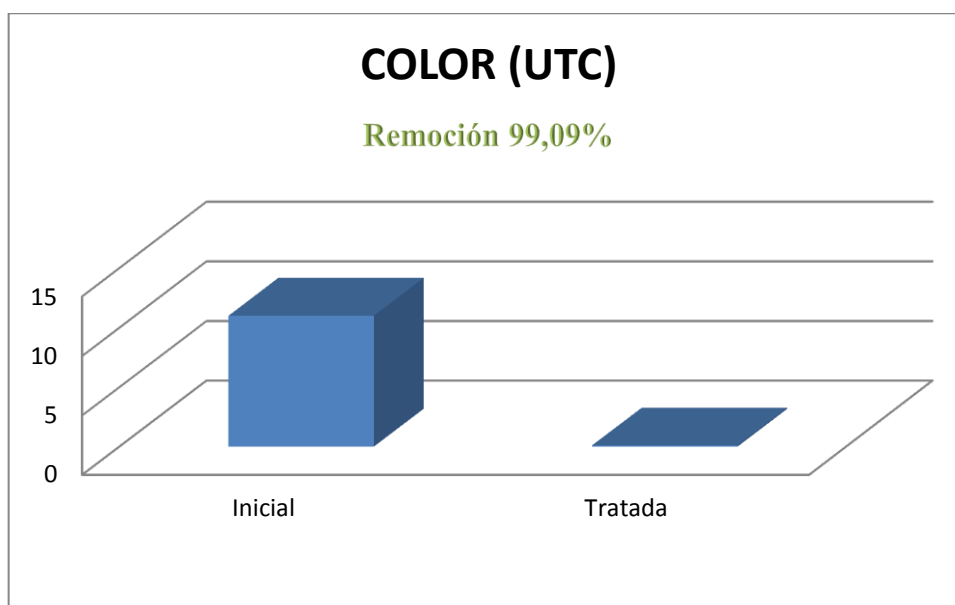


Gráfico 1-3. Disminución del color y % de remoción

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 26-3. Caracterización de la Turbiedad del agua inicial y tratada

Agua – Turbiedad (NTU)		Limite Permisible (NTU)	Remoción (%)
Inicial	Tratada		
5	1	3	80

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

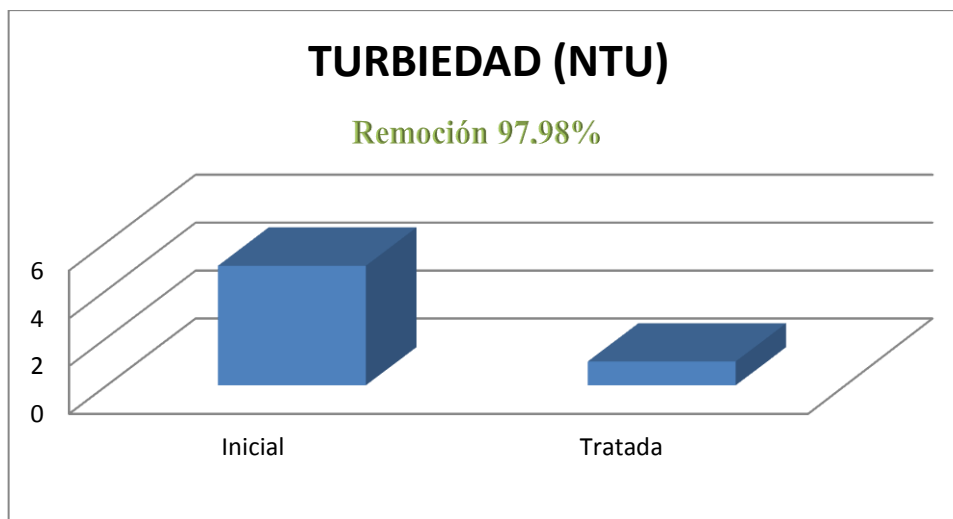


Gráfico 2-3. Disminución de la turbiedad y % de remoción

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.8.2. Características Químicas

Tabla 27-3. Caracterización del Cloro Libre Residual del agua inicial y tratada

Agua – Cloro Libre Residual (mg/L)		Limite Permisible (mg/L)	Remoción (%)
Inicial	Tratada		
0,06	0	0	100

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

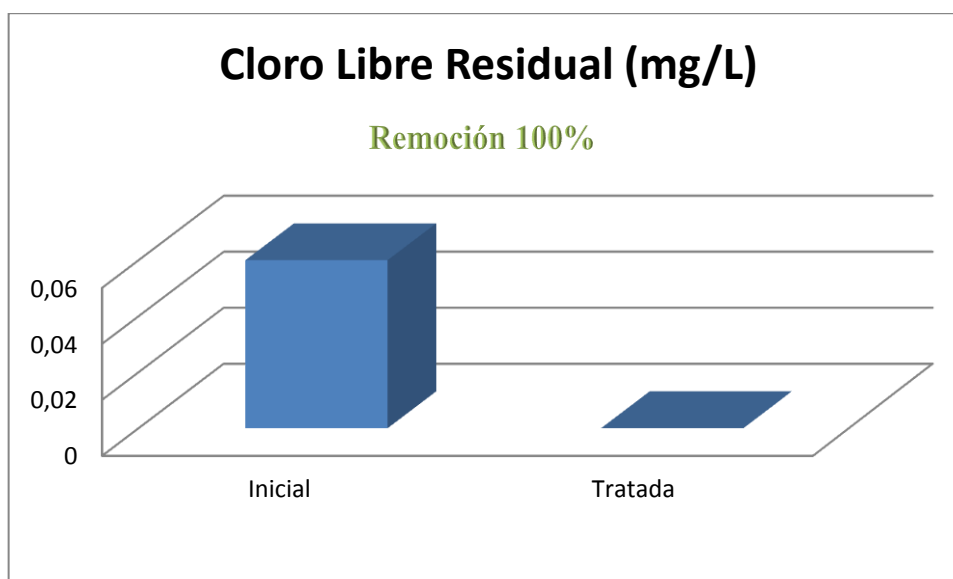


Gráfico 3-3. Disminución de cloro libre residual y % de remoción

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 28-3. Caracterización de la Dureza del agua inicial y tratada

Agua – Dureza (mg/L)		Limite Permisible (mg/L)	Remoción (%)
Inicial	Tratada		
293,33	29,3	300	90,01

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

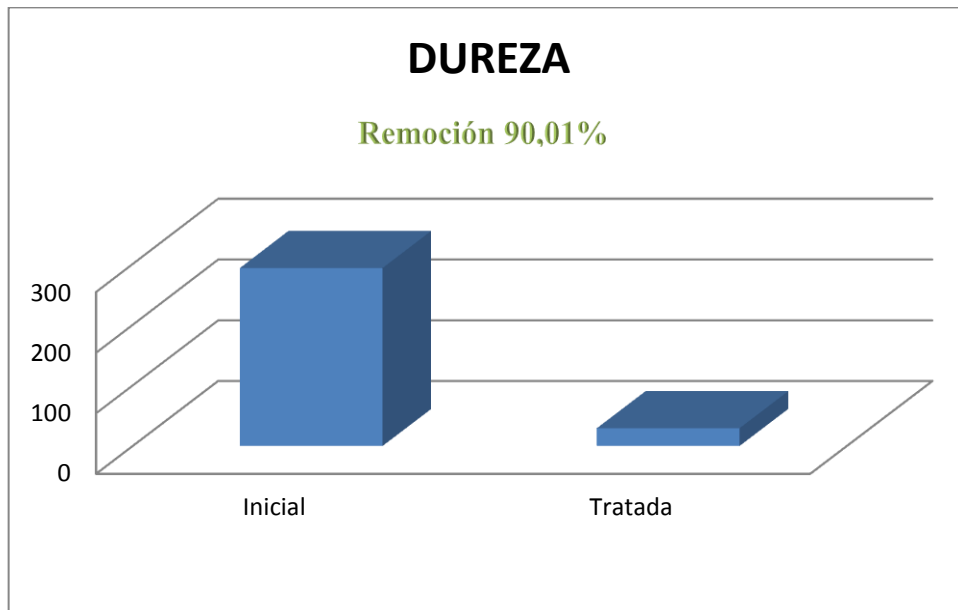


Gráfico 4-3. Disminución de la turbiedad y % de remoción

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.8.3. Características Microbiológicas

Tabla 29-3. Caracterización de los Coliformes Totales del agua inicial y tratada

Agua – Coliformes Totales (UFC/100mL)		Limite Permisible (UFC/100mL)	Remoción (%)
Inicial	Tratada		
1287,9	0	1	100

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

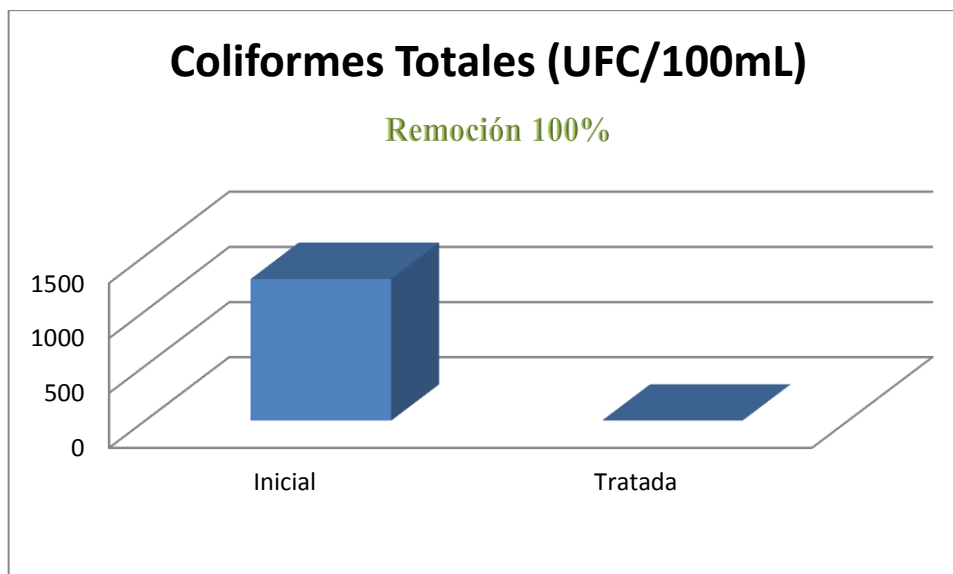


Gráfico 5-3. Disminución de la turbiedad y % de remoción

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 30-3. Caracterización de los Aerobios Mesófilos del agua inicial y tratada

Agua – Aerobios Mesófilos (UFC/mL)		Limite Permisible (UFC/mL)	Remoción (%)
Inicial	Tratada		
Incontable	< 100	$1,0 \times 10^2$	> 99

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.2.5.9. Análisis de los resultados de las pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizan con el fin de disminuir los parámetros que están fuera del límite máximo permisible y para ello se efectúa diferentes tratamientos que consisten en filtros de zeolita y resina de intercambio iónico, a más de ello se probó con un ablandador, con sulfato de aluminio y finalmente con policloruro de aluminio, para determinar cuál de ellos era el más efectivo para el proceso de optimización.

Una vez realizada la caracterización inicial al agua envasada nos proporcionó los siguientes resultados: sólidos totales disueltos 310 mg/L, pH 7,21, sabor y olor <no detectado>, y los parámetros que se encuentran fuera de Norma son los siguientes: color 11 UTC siendo su límite permisible 5 UTC, turbidez 5 NTU siendo su límite permisible 3 NTU, cloro libre residual 0,06 mg/L siendo su límite permisible 0 mg/L, dureza total 293,3 mg/L siendo su límite permisible 300 mg/L, aerobios mesófilos >100 UFC/mL siendo su límite permisible $1,0 \times 10^2$ UFC/mL y

coliformes totales $1,2 \times 10^3$ UFC/100mL siendo su límite permisible $1,0 \times 10^0$; como se muestra en la tabla 8-1 y 9-1, respectivamente.

En el presente trabajo se proporciona un nuevo método de tratamiento para asegurar la inocuidad del producto final que consiste en una filtración lenta con resina catiónica y como optimización del proceso productivo se considera una desinfección con hipoclorito de calcio.

Como se puede constatar en la Tabla 35-3 y 36-3, la filtración con resina catiónica resulta muy efectiva para bajar la concentración de color, turbiedad y dureza, mientras que para la eliminación de microorganismos como son los aerobios mesófilos y coliformes totales se realiza una desinfección con una mínima cantidad de hipoclorito de calcio.

La validación del agua envasada luego de haber realizado el tratamiento propuesto nos proporciona los siguientes resultados: color 0,1 UTC con un porcentaje de remoción del 99,09%; turbiedad 1 NTU con un porcentaje de remoción del 80%; cloro libre residual 0 mg/L con un porcentaje de remoción del 100%; dureza 29,3 mg/L con un porcentaje de remoción del 90,01%; aerobios mesófilos <100 UFC/mL con un porcentaje de remoción de >99% y coliformes totales <1 UFC/100mL con un porcentaje de remoción del 100%.

3.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN

3.3.1. Situación actual del proceso de producción de Agua en la Embotelladora “Aqua Clara”

La Embotelladora Aqua Clara cuenta con una secuencia de operaciones para la purificación de agua, que son:

Filtración (Sedimentos, Carbón Activado), Ozonización, Luz Ultravioleta, Envasado.

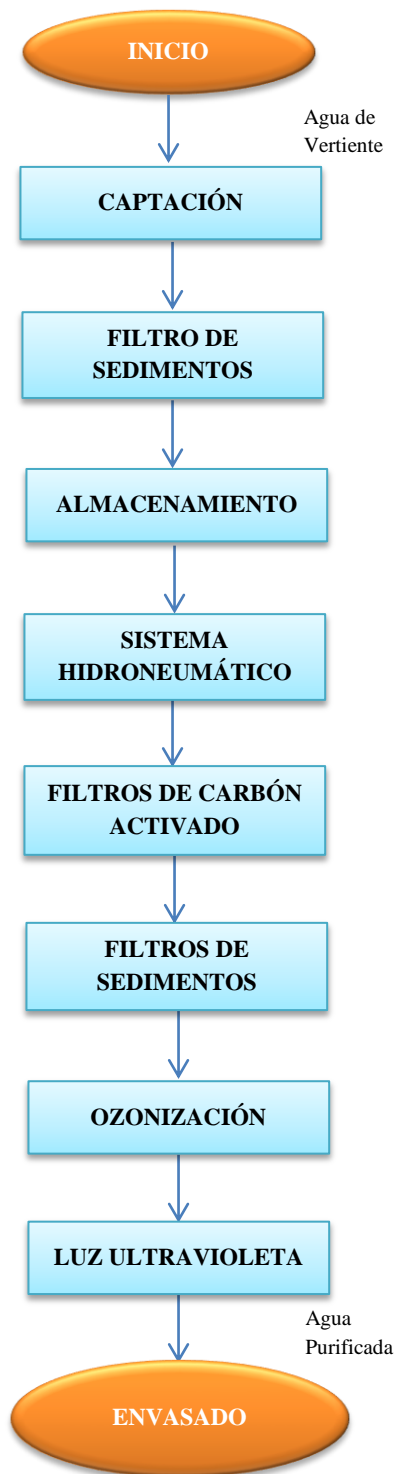


Figura 4-3. Diagrama del proceso de Producción de Agua Envasada “Aqua Clara”
Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Luego de una evaluación general del proceso de purificación en la planta se verificó la ineficiencia en los siguientes procesos: Ozonización, Sistema de Filtración, Sistema de Tuberías

y finalmente en el Envasado, problemas que se corroboran mediante los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio.

3.3.2. Línea de proceso de Purificación de Agua

- ***Captación de agua***

La planta recibe el agua mediante tuberías de PVC, suministrada por un tanque de captación que se encuentra en la vertiente a 1800 m de distancia. Ésta llega con una elevada carga mineral, lo cual hace que la empresa ponga en marcha un proceso de purificación para que el líquido sea óptimo para el consumo humano.

- ***Filtro de Sedimentos***

Este filtro retiene las impurezas grandes (hasta 30 μm) presentes en el agua debido a que en el transporte puede acarrear una serie de partículas indeseables. Este filtro se regenera periódicamente: retrolavándose a presión para despojar las impurezas retenidas.

- ***Almacenamiento***

Luego de haber pasado por el primer proceso de filtración, el agua pasa a un tanque de almacenamiento de acero inoxidable con una capacidad de 1000 L para su posterior distribución.

- ***Equipo Hidroneumático***

El agua se suministra a los equipos de filtración mediante la acción de una bomba ubicada en el piso, la misma que ejerce una presión y un caudal necesarios para conducir al agua hasta el proceso de filtración.

- ***Filtro de carbón activado***

El agua se conduce a través de tuberías de acero inoxidable de $\frac{1}{2}$ " hasta dos filtros de carbón activado. El carbón activado tiene como función eliminar eficientemente los olores y sabores característicos del agua de pozo, además de descartar una gran variedad de contaminantes químicos orgánicos presentes en el agua, tales como: pesticidas, herbicidas, etc.

- ***Sistema de Ozonización***

La ozonización se incluye dentro de los Procesos de Oxidación Avanzada. Gracias al paso del agua por un tubo Venturi toma contacto directo con el ozono eliminando compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, reduciendo el olor, color, sabor y turbidez del agua. Es necesaria su generación <in situ> (mediante “descargas eléctricas silenciosas”), es un potente desinfectante debido a su alta reactividad y poder de reducción.

- ***Esterilizador de Luz Ultravioleta***

Funciona como germicida, anula la vida de las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas que viven en el agua. Los microorganismos no pueden proliferarse debido a que mueren al contacto con la luz.

- ***Envasado***

El envasado la planta lo realiza manualmente. Los envases previamente limpios son ubicados bajo la válvula de llenado respectiva, ésta se abre y el envase es llenado hasta una medida predeterminada. Luego se coloca una tapa en la boca del envase para evitar que este se derrame o que ingresen elementos ajenos al proceso. La tapa colocada es ajustada, consiguiéndose un sellado hermético.

Ver Anexo L.

3.3.3. Preparación de envases

Los envases que transportan el agua purificada en todas sus presentaciones son adquiridos de varios lugares del Ecuador, así: Ambato, Quito y Guayaquil.

Al llegar a la empresa los envases se desempacan para ser limpiados y lavados interna y externamente.

- ***Limpieza interior y exterior de envases***

Este proceso lo realizan con una solución jabonosa (desengrasante) y agua con la ayuda de cepillos que son sometidos en el interior de los envases para quitar las adherencias presentes en las paredes de los mismos.

Luego son lavados con agua caliente para retirar residuos de jabón y partículas extrañas en el interior del envase previo al envasado. De la misma forma son lavados externamente quedando listos para el proceso de etiquetado.

Los residuos de este proceso son descargados a terrenos cercanos a la planta.

Por último al pasar los envases al proceso de llenado, son transferidos por el interior de un pequeño túnel en cuyo interior hay dos lámparas germinadas para eliminar microorganismos existentes o residuos resultantes del proceso de lavado de envases.

- ***Etiquetado de Envases***

Una vez lista el agua purificada dentro del envase herméticamente cerrado, se procede al etiquetado.

El proceso de etiquetado se realiza manualmente con la ayuda de una maquina etiquetadora el cual proporciona calor necesario para permitir la adherencia de las etiquetas a las paredes del envase, cualquiera que sea su presentación.

3.4. REQUERIMIENTOS DE TECNOLOGÍA, EQUIPOS Y MAQUINARIA.

En la caracterización física, química y microbiológica del agua envasada de la Embotelladora “Aqua Clara” se utilizaron los siguientes equipos que se detallan a continuación:

Tabla 31-3. Materiales, Equipos y Reactivos para la Caracterización Física del agua envasada

ANÁLISIS FÍSICOS		
MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Piseta	Fotómetro	Agua destilada
Vaso de precipitación	pH-metro	Agua “Aqua Clara”
Paños de limpieza	Turbidímetro	
Mandil	Multiparámetro	
Libreta		
Esferográfico		

Cámara fotográfica		
--------------------	--	--

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

Tabla 32-3. Materiales, Equipos y Reactivos para la Caracterización Química del agua envasada

ANÁLISIS QUÍMICOS		
MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Soporte universal	Fotómetro	Cianato de Potasio 10%
Botellas plásticas	Balanza Analítica	Buffer pH 10
Bureta	Ablandador	Eriocromo T
Pipeta	1 bomba 0,5 Hp	Solución EDTA 0,02M
Matraz Erlenmeyer		Sulfato de Aluminio 10%
Agitador		Cloruro de Sodio 10%
Pipeta volumétrica		Agua destilada
Resina catiónica		Agua “Aqua Clara”
Zeolita Natural		Salmuera
Envases plásticos		Policloruro de Aluminio al 5%
Tanque de 25L		
Esferográfico		
Envases pequeños		
Mandil		
Mascarilla		
Paños de limpieza		
Libreta		
Cámara fotográfica		

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

Tabla 33-3. Materiales, Equipos y Reactivos para la Caracterización Microbiológica del agua envasada

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS		
MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
Filtro de membrana	Bomba al vacío	Ampolla TGE

Pipeta	Incubadora	Ampolla ENDO
Envase bacteriológico		Hipoclorito de Calcio
Piseta		Agua destilada
Pera de succión		Agua “Aqua Clara”
Embudo		
Caja Petri		
Pinza		
Guantes		
Cámara Fotográfica		
Mandil		
Mascarilla		
Libreta		
Esferográfico		

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua – ESPOCH

3.5. ANÁLISIS DE COSTO/BENEFICIO DEL PROYECTO

3.5.1. Costo de la Optimización

Tabla 348-3. Análisis de costo de la dosificación de cloro

Químico	Presentación	Cantidad requerida	Valor unidad (\$)	Valor día (\$)	Valor mes (\$)	Valor anual (\$)
Hipoclorito de Calcio	45 Kg	0,036	180,00	0,15	4,50	54,75
Total			180,00	0,15	4,50	54,75

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.5.2. Costo del Rediseño de la Planta

Tabla 35-3. Análisis de costo de Equipos y herramientas

Equipos	Material	Cantidad requerida	Valor unidad (\$)	Valor Total (\$)
Filtro	Polycarbonato	2	300,00	600,00

Tanque de desinfección	Acero inoxidable	1	800,00	800,00
Total				1400,00

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 36-3. Análisis de costo de dosificación de químicos

Químicos	Presentación	Cantidad requerida	Valor unidad (\$)	Valor Total (\$)
Resina	1 pie cúbico	4,37	450,00	1966,5
Cloruro de Sodio	25 kg	16,08	60,00	38,60
Hipoclorito de calcio	45 Kg	0,036	180	0,15
Total				2005,25

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

Tabla 37-3. Costo total del rediseño de la planta

Descripción	Valor (\$)
Equipos	1400,00
Químicos	2005,05
Total	3405,05

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

3.6. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

ACTIVIDAD	TIEMPO																							
	1° MES				2° MES				3° MES				4° MES				5° MES				6° MES			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Revisión Bibliográfica																								
Diagnóstico de las condiciones actuales en la Embotelladora Aqua Clara																								
Determinar los puntos críticos en las etapas del proceso																								
Caracterizar y evaluar las variables del proceso																								
Plantear alternativas para la optimización																								
Determinar el presupuesto para la optimización																								
Elaboración de Informe preliminar																								
Corrección de Informe preliminar																								
Redacción del trabajo final																								
Empastado y presentación del trabajo final																								
Auditoría Académica																								
Defensa del proyecto																								

Realizado por: Ivonne Cruz. 2017

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica del agua envasada de la Embotelladora “Aqua Clara” las cuales dieron como resultado los siguientes parámetros fuera de los límites máximos permisibles: Color 11 UTC, Turbiedad 5 NTU, Cloro Libre Residual 0,06 mg/L, Dureza 293 mg/L, Coliformes Totales 1287,9 UFC/100mL y Aerobios Mesófilos >100UFC/mL.
- Se logró identificar las variables de diseño en la línea de producción siendo estas las siguientes: dosificación de cloro por día, volumen necesario de cloro, volumen del tanque de mezcla de cloro y altura del tanque de mezcla de cloro para así preservar la calidad del agua en base a la Norma INEN 2200
- Se determinó que para el proceso de optimización únicamente se realizará en base a la dosificación adecuada del hipoclorador (hipoclorito de calcio) en una cantidad en peso de 0,036 kg/día, con el fin de preservar la calidad del agua en base a la Norma INEN 2200.
- Para el proceso de desinfección se determinó que el presupuesto requerido para el proceso de optimización de la embotelladora Aqua Clara es de \$ 4,50 mensuales y \$ 54,75 anuales, lo que significa que es una inversión pequeña para mejorar el proceso de purificación de agua y eliminar los microorganismos con hipoclorito de calcio.
- Con el tratamiento planteado, se evaluó el cumplimiento de optimización alcanzado en la línea de producción logrando disminuir las concentraciones de Color 0,1 UTC con un % de remoción de 99,09%, Turbiedad 1 NTU con un % de remoción de 80%, Cloro Libre Residual 0 mg/L con un porcentaje de remoción de 100%, Dureza 29,3 mg/L con un % de remoción de 90,01%, Coliformes Totales <1 UFC/100mL con un % de remoción de 100% y Aerobios Mesófilos <100 UFC/mL con un % de remoción de >99%, respectivamente, y de esta manera preservar la calidad del agua en base a la Norma INEN 2200 (AGUA PURIFICADA ENVASADA. REQUISITOS)

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua envasada periódicamente con el propósito de obtener una base de datos segura que nos permita controlar el correcto funcionamiento de la línea de producción de agua purificada.
- Para un mejor funcionamiento de la planta de purificación de agua es recomendable la implementación de un laboratorio para realizar análisis básicos al agua y así mantener un constante control de la inocuidad el líquido.
- Debido al contacto directo que existe del personal con el agua ya purificada se recomienda instalar una embotelladora automática para evitar la contaminación cruzada y asegurar eficientemente la calidad del producto final.
- Realizar una nueva investigación para la implementación de un Manual de Buenas prácticas de Manufactura con el fin prevenir la contaminación a la mayor medida posible del agua.
- Finalmente se recomienda utilizar las alternativas planteadas en el presente estudio con el fin de lanzar al mercado una nueva presentación de agua desmineralizada y libre de agentes patógenos para mayor seguridad del consumidor y así sacar mayor provecho del recurso agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARBOLEDA, J.** *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia: Mac-Graw Hill, 2000
2. **AYANEGUI, S.** *Manual de Agua para Usos Industriales*. México: Limusa, S.A., 1987, p 311.
3. **BULLÓN, J. P.** *Equipos y Laboratorio de Colombia*. [En línea]. Medellín-Colombia: 2015. [Consulta: 15 de noviembre de 2016]. Disponible en: http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?c=216#inicio
4. **CAZARES, L. A.** *Agua Purificación*. Lulu.com. ilustrada., 2015, p 58.
5. **FÉLEZ, M. S.** *El Agua*. [En línea]. [Consulta: 09 de diciembre de 2016]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6263/03_Mem%20ria.pdf?sequence=4
6. **GERBRANDY, GERBEN; & HOOGENHAM, PAUL.** *Agua y Acequias*. Bolivia: Plurar editores, 1998. pp. 39, 40.
7. **GUERRERO, P.** *Vertiente*. [En línea]. 2011. [Consulta: 13 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://geografia.laguia2000.com/general/vertiente>
8. **GUERRERO, R.** *Manual de Tratamiento de Aguas*. Decimonovena reimpresión. México D.F.: Limusa S.A., 2001. p 134.
9. **HIDALGO DOMINGUEZ, FANNY ESTHER & GUAMÁN PÉREZ MARCO VINICIO.** *Diseño y construcción de un desmineralizador de lecho múltiple*. . [En línea]. (Tesis Ingeniero Químico) Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química. Guayaquil. 2006. [Consulta: 12 de enero de 2017]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/746/1/976.pdf>
10. **HUERTA, L.** “Métodos para purificar agua”. *Revista del Consumidor* [En línea]. (México), pp. 41-43. [Consulta: 09 de diciembre de 2016]. Disponible en: http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_04/purificar_agua_mzo04.pdf

11. **JIMENEZ, B. E.** *La contaminación ambiental en México: causa, efectos y tecnología apropiada*. México, D.F.: LIMUSA, S.A., 2005, p 33.
12. **MARTÍNEZ BAYAS, JAVIER RAFAEL & IDROVO JAYA, MARCELO GONZALO.** *Diseño y construcción de un sistema de ablandamiento para el tratamiento del agua de las cisternas de la Facultad de ciencias – ESPOCH*. [En línea]. (Tesis Ingeniero Químico). ESPOCH, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. (Riobamba-Ecuador). 2012. [Consulta: 05 de enero de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2031>
13. **MORALES LEÓN, MARÍA AUGUSTA.** *Diseño de una planta de potabilización para la comunidad de Tuntatacto parroquia San Andrés cantón Guano*. [En línea]. (Tesis Ingeniero Químico). ESPOCH, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. (Riobamba-Ecuador). 2015. pp. 29-34 y 56-58. [Consulta: 05 de enero de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4680>
14. **NTE INEN 2200.** *Agua Purificada Envasada. Requisitos*. Quito: 2008.
15. **Organización Panamericana de la Salud.** *Guías para la calidad del Agua Potable. Control de la calidad del agua potable en sistemas de abastecimiento para pequeñas comunidades*. Washington D.C: 1998, Vol. 3, p 30.
16. **PITTMAN, R. A.** *Agua Potable para Poblaciones Rurales*. [En línea]. Lima-Perú: 1997, p 28. [Consulta: 09 de diciembre de 2016]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_(CAP[1].%203).pdf)
17. **Proyecto de Agua Potable - Análisis Físicos, Químicos y Bacteriológicos**. [En línea]. [Consulta: 15 de noviembre de 2016]. Disponible en: <http://civilgeeks.com/2010/09/23/proyecto-de-agua-potable-analisis-fisicos-quimicos-y-bacteriologicos/>
18. **ROMERO, J.** *Purificación del Agua*. 2ª ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006.
19. **SYBRON, LANXESS.** *Material Safety Data Sheet*. [En línea]. Canadá: pp 1-3. [Consulta: 22 de diciembre de 2016]. Disponible en:

<http://formosa.msdssoftware.com/imagedir/DB70BE61E0DE45F994F7B3307A2A8C09.pdf>

20. **TAMPO, DEBORAH.** *Aguas Envasadas*. México: Limusina, S.A., 2010. p 203.
21. **Uversidad Politécnica de Cartagena.** *Análisis de Aguas*. [En línea]. [Consulta: 15 de noviembre de 2016]. Disponible en: https://www.upct.es/~minaees/analisis_aguas.pdf.%204

ANEXOS

ANEXO A.

MANUAL DE METODOS ANALITICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA	
PARAMETROS FISICOS	PROCEDIMIENTO
COLOR	<ol style="list-style-type: none">1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados2. Seleccionar el test 125 COLOR 465 nm3. Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 mL hasta la marca de 10 mL con muestra.4. Preparación del blanco: llenar otra cubeta de una pulgada de 10 mL hasta la marca de 10 mL con agua destilada5. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.6. Seleccionar en la pantalla: Cero La Pantalla indicará: 0 units UTC7. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.8. Seleccionar en la pantalla: Medición La Pantalla indicará: 0 units UTC
TURBIDEZ	<ol style="list-style-type: none">1. Coloque una muestra de agua en la cubeta hasta el nivel de aforo2. Cuidadosamente elimine cualquier residuo en el exterior de la cubeta usando toallas de papel con trazas de aceite de silicona. Las muestras con distribuciones de partículas grandes o desiguales deben leerse promediando las lecturas mínimas y máximas. Es preferible tener una muestra más uniforme, pero este método se usará si o hay otra forma de preparar la muestra.3. Colocar cuidadosamente en el instrumento de medida con la señal hacia adelante, cerrar y presionar READ, esperar a que estabilice el instrumento.4. Registrar el valor que nos da directamente el equipo.
SÓLIDOS DISUELTOS	<ol style="list-style-type: none">1. Lavar varias veces el electrodo (celda conductométrica) con agua destilada.2. Sumergir en el recipiente que contiene el agua a examinar.3. Seleccionamos el parámetro de medida en la pantalla (STD) y presionamos READ. Deje un tiempo hasta que la lectura sea estable.4. Lea la medida de sólidos totales disueltos directamente de la pantalla. Además se medirá la temperatura.5. Registre el valor. Limpie el electrodo con agua destilada, seque.6. Guarde el electrodo hasta volver a utilizar.

pH	<p>Preparación de la muestra.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar en la cubeta una muestra de agua hasta el nivel de aforo. <p>Preparación del blanco.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Colocar en otra cubeta agua destilada hasta el nivel de aforo. 3. Proceder a medir en el instrumento.
PARÁMETROS QUÍMICOS	PROCEDIMIENTO
COLOR LIBRE RESIDUAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados 2. Seleccionar el test COLOR LIBRE 3. Previamente disolver en un envase pequeño con la muestra un sobre de CHLORINE FREE y llenar la cubeta de una pulgada de 10 mL hasta la marca de 10 mL. 4. Preparación del blanco: llenar otra cubeta de una pulgada de 10 mL hasta la marca de 10 mL con agua destilada 6. Limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 7. Seleccionar en la pantalla: Cero La Pantalla indicará: 0 units PtCo 8. Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha. 9. Seleccionar en la pantalla: Medición La Pantalla indicará: 0 mg/L
DUREZA TOTAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar en un matraz erlenmeyer con una pipeta volumétrica una cantidad de 25 mL de muestra + 1 mL KCN + 2 mL de Buffer pH 10 + pizca de indicador negro de eriocromo T. 2. Titular la mezcla con EDTA (0,02 M) hasta que pase de un color rojo a azul.
SALOR Y OLOR	Estos dos parámetros son inobjetables y depende de la percepción de quien lo realice. Por eso se los condiera como <<no detectable>>
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS	PROCEDIMIENTO
AEROBIOS MESÓFILOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Esterilizar la pinza. 2. Codificar las cajas 3. Colocar la membrana en el soporte. 4. Colocar el embudo cerrar la llave. 5. Homogenizar la muestra. 6. Encender la bomba.

	<ol style="list-style-type: none"> 7. Verter 1 mL de muestra sobre el embudo de poco a poco. 8. Cerrar la llave. 9. Tomar la membrana con cuidado e introducir la membrana a la caja codificada. 10. Agregar el medio de cultivo indicado para aerobios mesófilos 11. Encubar en una estufa de 24 a 48 horas
COLIFORMES TOTALES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Repetir el procedimiento anterior hasta el punto 6 2. Colocar 100 mL de muestra sobre el embudo poco a poco 3. Cerrar la llave. 4. Tomar la membrana con cuidado e introducir la membrana a la caja codificada. 5. Agregar el medio de cultivo indicado para coliformes totales 6. Encubar en una estufa de 24 a 48 horas

ANEXO B

ANÁLISIS PREVIOS AL TRATAMIENTO

a

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS

Solicitado por: Srta. Ivonne Cruz
Fecha de análisis: 28 de Noviembre de 2016
Fecha de entrega de resultados: 12 de Diciembre de 2016
Tipo de muestra: Agua purificada envasada previo al tratamiento
Localidad: Embotelladora "Aqua Clara"
Código: 15/2016

Determinaciones	Unidades	* Límites Norma INEN 2200	Resultados
Color	Pt/Co	5	11
Turbiedad	UNT	3	5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	500	310
pH		8,5	7,21
Cloro Libre Total	mg/L	0	0,06
Dureza Total	mg/L	300	293
Sabor		Inobjetable	Inobjetable
Olor		Inobjetable	Inobjetable
Coliforme Totales	UFC/100mL	$1,0 \times 10^0$	$1,2 \times 10^3$
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	$1,0 \times 10^2$	Incontable

* Valores referencia/es para agua envasada purificada

Observaciones:
Atentamente,


Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

ANEXO C

ANÁLISIS PREVIOS AL TRATAMIENTO

a

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUAS


Solicitado por: Srta. Ivonne Cruz
Fecha de análisis: 28 de Noviembre de 2016
Fecha de entrega de resultados: 12 de Diciembre de 2016
Tipo de muestra: Agua purificada envasada después del tratamiento
Localidad: Embotelladora "Aqua Clara"
Código: 15/2016

Determinaciones	Unidades	*Limites Norma INEN 2200	Resultados
Color	Pt/Co	5	0,1
Turbiedad	UNT	3	1
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	500	340
pH		8,5	7,94
Cloro Libre Total	mg/L	0	0
Dureza Total	mg/L	300	29
Sabor		Inobjetable	Inobjetable
Olor		Inobjetable	Inobjetable
Coliforme Totales	UFC/100mL	$1,0 \times 10^0$	< 1
Aerobios Mesófilos	UFC/mL	$1,0 \times 10^2$	< 100

*Valores referenciales para agua envasada purificada

Observaciones:

Atentamente,


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANALISIS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

**ANEXO E
CARACTERIZACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICOS**

a

REQUISITOS	Mínimo	Máximo
Color expresado en unidades de color verdadero (UTC)	--	5
Turbiedad expresada en unidades nefelométricas de turbiedad NTU	--	3
Sólidos totales disueltos expresados en mg/l:		
- Agua purificada envasada	--	500
- Agua purificada mineralizada envasada	250	1000
pH a 20°C:		
- no carbonatada,	6,5	8,5
- carbonatada,	4,0	8,5
- proceso de ósmosis y destilación	5,0	7,0
Cloro libre residual, mg/l	0,0	0,0
Dureza, CaCO ₃ , mg/l	-	300
Olor y sabor	inobjetable	

b

	Límite máximo
Aerobios mesófilos, UFC/ml	$1,0 \times 10^2$
Coliformes NMP/100 ml	< 1,8
Coliformes UFC/100ml	$< 1,0 \times 10^0$
NOTA: Los valores < 1,8 y $< 1,0 \times 10^0$ significan ausencia, o no detectables	

CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA <i>AQUA CLARA</i> DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. NTE INEN 2200 (Requisitos físicos y químicos)	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
b. NTE INEN 2200 (Requisitos microbiológicos)	<input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR		6/13	1:1	12/12/2016
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

ANEXO E
CARACTERIZACIÓN DE ANÁLISIS FÍSICOS

a



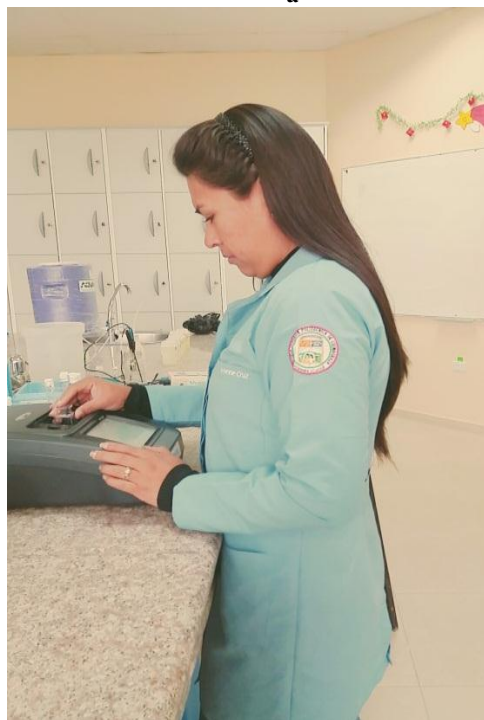
b



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA <i>AQUA CLARA</i> DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Medición del pH y Sólidos disueltos totales b. Medición de la Turbiedad.	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN		6/13	1:1	12/12/2016

**ANEXO F
ANÁLISIS QUÍMICOS**

a



b



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA <i>AQUA CLARA</i> DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Medición de Cloro Libre Residual b. Medición de la Dureza	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			7/13	1:1	12/12/2016

**ANEXO G
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

a



b



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA <i>AQUA CLARA</i> DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Conteo Coliformes Totales b. Conteo Aerobios Mesófilos	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
			8/13	1:1	12/12/2016

ANEXO H
TRATAMIENTO CON RESINA CATIÓNICA

a



b



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA <i>AQUA CLARA</i> DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Activación de la Resina con NaCl b. Paso del agua envasada por la resina.	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> APROBADO		9/13	1:1	12.12.2016
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR				
	<input type="checkbox"/> POR ELIMINAR				
	<input type="checkbox"/> POR APROBAR				
	<input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN				

**ANEXO I
TRATAMIENTO DEL AGUA ENVASADA**



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA <i>AQUA CLARA</i> DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Tratamiento de agua envasada con Zeolita Natural	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR		LÁMINA	ESCALA	FECHA
b. Tratamiento de agua envasada con Sulfato de Aluminio	<input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN		10/13	1:1	12/12/2016

**ANEXO J
TRATAMIENTO CON ABLANDADOR**



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA AQUA CLARA DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Activación de la resina mediante la recirculación b. Colocación del agua envasada para la recirculación	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			11/13	1:1	12/12/2016

ANEXO K
CARACTERIZACIÓN DESPUÉS DEL TRATAMIENTO

a



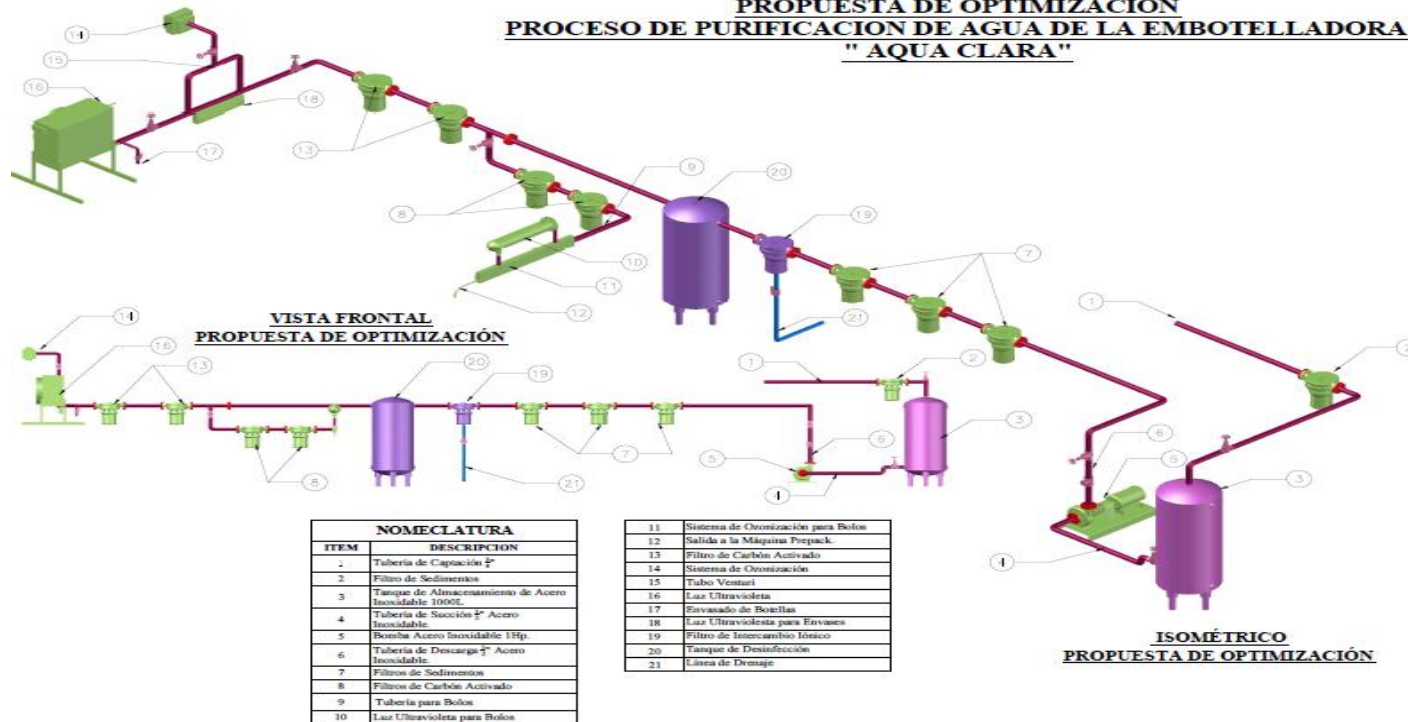
b



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA AQUA CLARA DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Parámetros Químicos (Dureza) b. Parámetros Microbiológicos (Coliformes Totales)	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> INFORMACIÓN		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			12/13	1:1	12/12/2016

ANEXO L
PROCESO PRODUCTIVO
a

PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN
PROCESO DE PURIFICACIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA
" AQUA CLARA "



CONTIENE:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGUA DE LA EMBOTELLADORA AQUA CLARA DEL CANTÓN PELILEO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
a. Propuesta de Optimización para la Embotelladora "Aqua Clara"	<input type="checkbox"/> CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA IVONNE CRUZ	LÁMINA	ESCALA	FECHA
	<input type="checkbox"/> APROBADO		13/13	1:1	12/12/2016
	<input type="checkbox"/> POR CALIFICAR				

